
Сергей ТРАНКОВСКИЙ
КНИГА О ЛАЗЕРАХ







КНИГА
О
ЛАЗЕРАХ



Сергей ТРАНКОВСКИЙ

КНИГА О ЛАЗЕРАХ

МОСКВА «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА» 1988

32.86
Т65

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

доктор технических наук,
профессор В. Б. ШТЕЙНШЛЕЙГЕР,
доктор технических наук Е. А. КОЗЛОВ,
доктор технических наук,
профессор М. М. КОЛТУН

ХУДОЖНИКИ:

Е. АНДРЕЕВА
Д. КОНСТАНТИНОВ

Транковский С. Д.
Т65 Книга о лазерах: Научно-популярн. лит-ра/ Худож. Е. Андреева и Д. Константинов.— М.: Дет. лит., 1988.—112 с.: ил.
ISBN 5—08—001187—4

Лазерная техника — одно из магистральных направлений современной НТР — обещает коренным образом изменить практически все сферы нашей жизни. Книга знакомит с принципами действия лазеров, с различными видами этих приборов, с применением лазерной техники в самых разных областях жизни.

Т $\frac{4802000000-474}{М101(03)-88}$ 067—88 **32.86**

ISBN 5—08—001187—4

Лазер... Очень многие про него слышали. А кое-кто даже видел, хотя бы на фотографиях. Ну и что? Ничего интересного: трубка или коробочка, а из нее выходит тоненький лучик, иногда зеленый или синий, чаще — красный. Фонарь и фонарь, ничего особенного. Есть ли о чем тут говорить? Оказывается, есть. И фонарь этот не простой, и луч тоже не обыкновенный. Он может вылечить надвигающуюся слепоту и на лету поразить вражеский самолет, мгновенно просверлить отверстие в алмазе и раскроить тончайшую шелковую ткань. А чтобы понять, как все это получается, сначала придется рассказать о том,

КАК ВОЗНИКАЕТ СВЕТ

Все в мире состоит из атомов — камни и деревья, металлы и газы, люди и звери. Любой, даже самый маленький кусочек вещества — это многие миллионы атомов, и все, что происходит с веществом, отражается на их состоянии. Возьмем, например, кусок железа и начнем его нагревать. Очень скоро мы почувствуем жар, исходящий от него. Нагреваем сильнее, железо начинает светиться сначала темно-вишневым, потом ярко-алым и, в конце концов, ослепительно белым или чуть голубоватым светом. Почему?

Нагревая вещество, мы передаем его атомам энергию. Атомы при этом переходят в новое, возбужденное состояние, в котором, однако, долго находиться не могут. Они «успокаиваются», испустив порцию энергии,— квант света. Так толпа школьников, накопив энергию за время сидения на уроке, носится по двору, испуская крики, пока не успокоится...

Каждый квант можно представить себе как отрезок волны, летящей со скоростью света. Любая волна характеризуется своей длиной. От длины волны кванта зависит, сколько энергии он может с собой унести: чем меньше длина волны, тем эта энергия больше. Длина волны красного света больше, чем голубого, и энергии красный квант несет соответственно меньше. Теперь становится понятным, почему при нагревании тела его излучение меняет яркость и цвет. Чем больше излучается квантов, тем ярче делается свечение. Кроме того, свет ста-

новится менее желтым, белеет. Это значит, что в его спектре появляются голубые лучи. Ведь и белье подсинивают, чтобы оно стало белее, иначе оно будет казаться желтоватым. Коротковолновые голубые кванты уносят больше энергии, и именно на их долю приходится теперь большая часть излучения. А почему не все? Почему сильно нагретое тело излучает лучи с разной длиной волны, весь длинный спектр — от тепловых лучей, называемых инфракрасными, до ультрафиолетовых, под которыми так легко загореть на солнце? Потому, что в сильно нагретом веществе возбужденные атомы сами начинают влиять друг на друга, так что на любом, даже самом маленьком, участке поверхности длина световой волны и сила излучения все время меняются. Атомы отдают свет несогласованно, каждый сам по себе. Такое излучение называют некогерентным.

Казалось бы, все просто: хочешь получить яркий свет — нагрей как следует нить накала лампы. Но не тут-то было, расчеты показывают, что температура нагрева получается такая высокая, что никакое вещество ее не выдержит. Наше Солнце светит, как тело, нагретое до 6000°, излучая с каждого сантиметра своей поверхности 7000 ватт энергии. Но энергия эта, как мы уже выяснили, распределена на всю ширину спектра. Если же мы захотим получить излучение **одной** длины волны, то на ее долю придется мизерная мощность в сотые доли ватта. Еще поднять температуру? Нельзя. Несколько тысяч градусов — предел для техники. Любой материал при таком нагреве превратится в пар. Этот путь повышения яркости для нас закрыт.

А нельзя ли передать атому энергию каким-нибудь другим способом, не подвергая его столь жестокому испытанию огнем? Оказывается, можно. Атом способен не только испускать кванты, теряя энергию, но и поглощать их, возбуждаясь. Но атому «не нравится» быть в возбужденном состоянии. Энергию поглощенного кванта атом стремится тут же отдать, излучить. Поэтому просто осветив кусочек вещества лампой, даже очень сильной, мы ничего не добьемся. Нужно сделать так, чтобы его атомы сначала накопили энергию, а потом все вместе сразу ее отдали, выпустив кванты залпом. Поможет нам в этом явление, называемое вынужденным излучением. Атом может отдать энергию не только самопроизвольно, но и тогда, когда с ним столкнется посторонний квант, имеющий ту же длину волны, что и излучение атома. После столкновения получаются два кванта, совершенно неотличимые друг от друга. Оба они имеют одинаковую длину волны и движутся

Цвета нагретых тел

1500°

1400°

1300°

1200°

1100°

1000°

900°

800°

700°

600°

500°

Шкала электромагнитного излучения

Частота, Гц

10^{24}

10^{22}

10^{20}

10^{18}

10^{16}

10^{14}

10^{12}

10^{10}

10^{8}

10^{6}

Гамма-излучение

Рентгеновское излучение

УФ-излучение

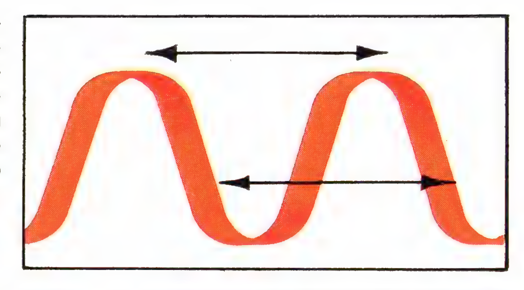
Видимый свет

ИК-излучение

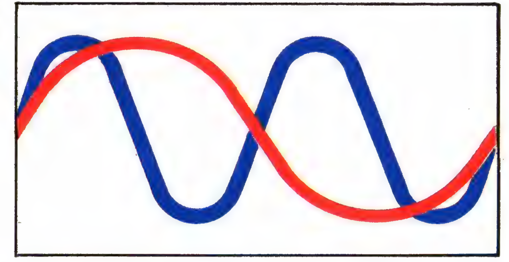
СВЧ-излучение

Радио-излучение

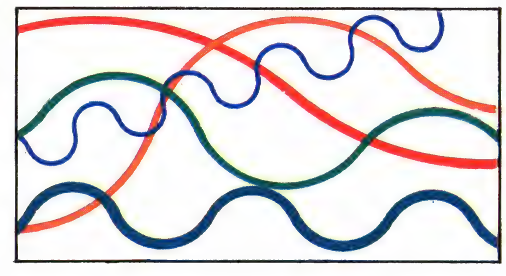
Длина волны — расстояние между ее соседними вершинами или любыми точками, находящимися на одинаковом расстоянии от них. Про такие точки говорят, что они находятся «в фазе».



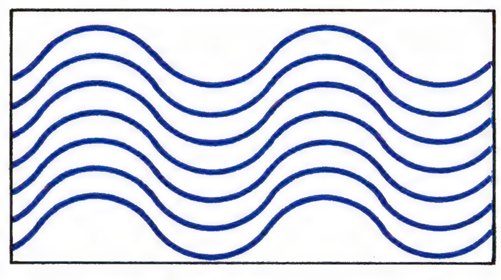
У красного света длина волны почти в два раза больше, чем у синего. Чем больше длина волны, тем меньше энергия ее фотона.



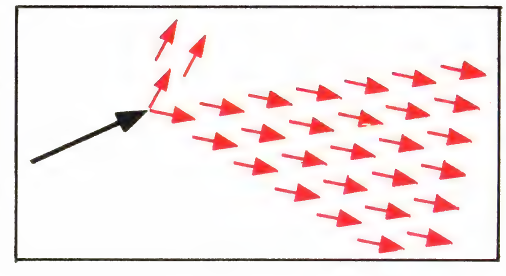
Белый свет солнца и электрической лампочки — смесь электромагнитных волн разной длины.



Световые колебания называются монохроматическими (одноцветными), если длина их волн одинакова и со временем не меняется. Если к тому же они идут согласованно — вершина к вершине,— свет будет когерентным.



Один атом (на него показывает черная стрелка) излучил фотон. Этот фотон по дороге заставляет излучить второй атом, потом третий, четвертый — по веществу идет световая лавина, возникает вынужденное излучение.



в одном направлении. Движение их согласованно, их максимумы и минимумы совпадают, усиливая друг друга. Несколько миллиардов столкновений, и возникает излучение, когерентное и монохроматичное (то есть одноцветное, от латинских слов «моно» — один и «хром» — цвет). Атомы, испускающие кванты таким образом, похожи уже не на толпу вопящих школьников, а на хорошо спевшийся хор, подчиненный воле невидимого дирижера. Не случайно физики такие системы называют музыкальным термином: «гармонические квантовые ансамбли».

Значит, если накопить достаточно большое количество возбужденных атомов, которые будут «жить» в этом состоянии достаточно долго, и если создать мощный поток квантов, летящих в одном направлении, получим систему, способную генерировать когерентный свет и называемую

ОПТИЧЕСКИЙ КВАНТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР, ИЛИ ЛАЗЕР

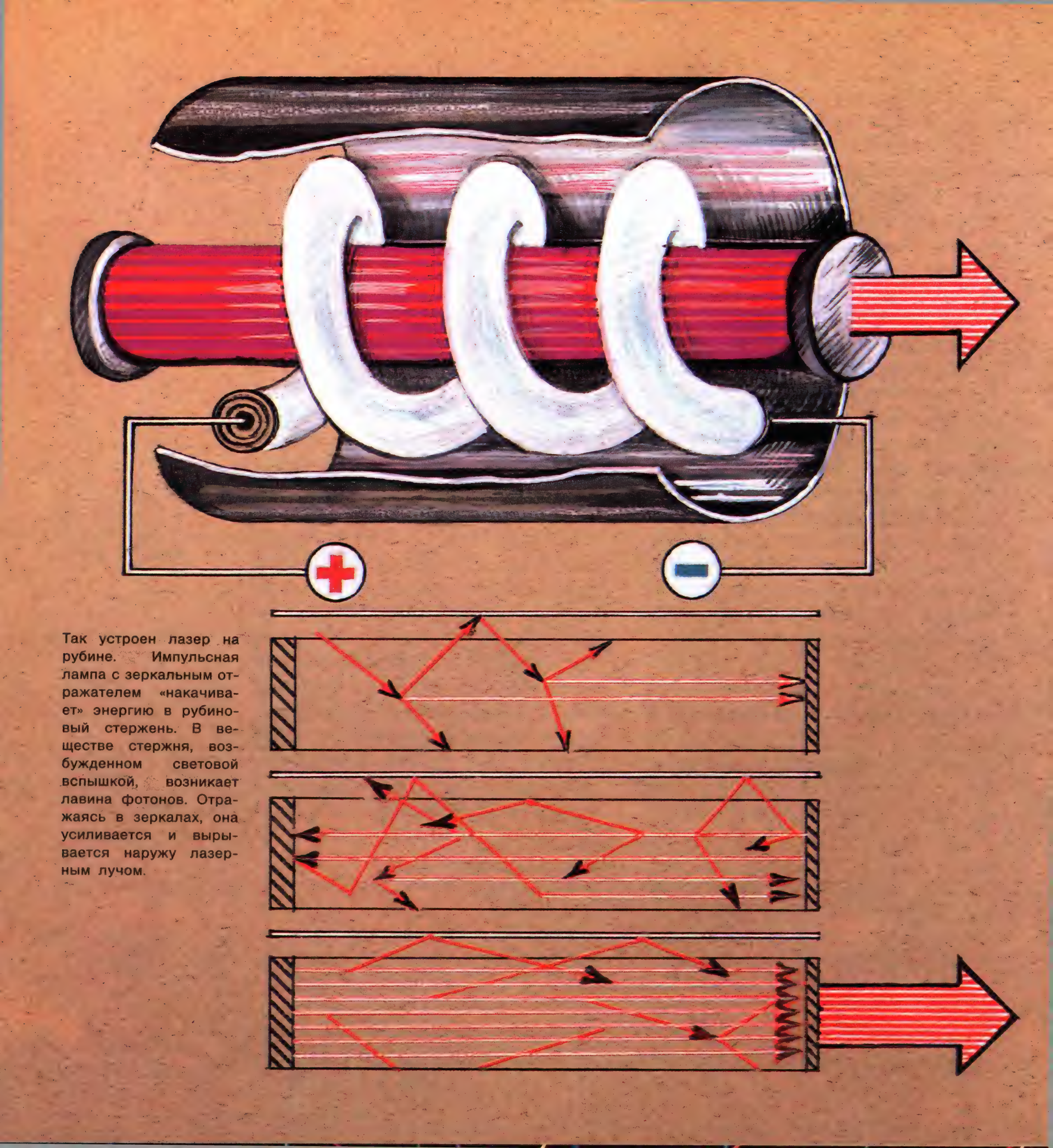
Слово «лазер» составлено из первых букв английской фразы, означающей: «усиление света при помощи вынужденного излучения».

Сделаем лазер так.

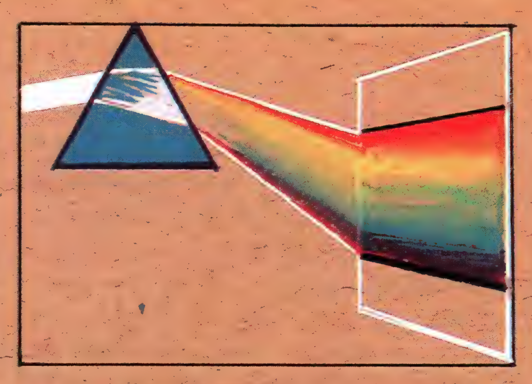
Возьмем стержень или пластинку, сделанную из материала, от которого мы хотим добиться излучения. Материал должен быть прозрачным, чтобы свет пронизывал его насквозь. Самые распространенные материалы для стержней — искусственно выращенные кристаллы рубина или граната (или стекло, в которое добавлено небольшое количество редкого элемента неодима). Стержни обычно бывают диаметром от 6 до 20 миллиметров и длиной от 10 до 60 сантиметров. Сам лазер часто именуется по материалу стержня. Так, выражение «рубиновый лазер» совсем не означает, что весь прибор сделан из этого драгоценного камня. Просто внутри него находится кристалл искусственного рубина размером с карандаш.

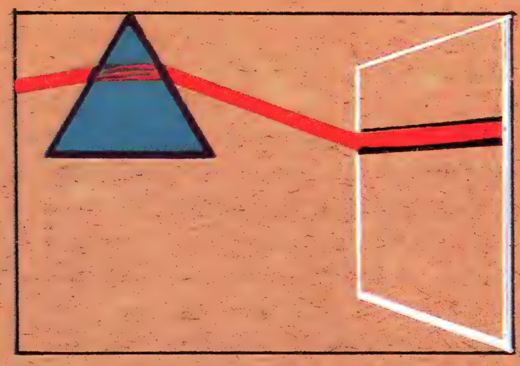
Рядом со стержнем поместим осветитель, его называют лампой накачки. Лампа будет импульсной, вроде тех ламп-вспышек, которыми пользуются фотографы,— все процессы в атомах проходят за миллионные доли секунды, так что надолго включать ее нет смысла. Осветитель вместе со стержнем окружим отражателем, чтобы ни один квант света накачки не пропал зря. Возле торцов рабочего стержня установим два зеркала: сзади — глухое, отражающее весь падающий на него свет (или призму, такую, какая нарисована на с. 52), спереди — полупрозрачное. Зеркала установим строго параллельно друг другу и перпендикулярно оси стержня. Лазер готов. Подключим к лампе накачки провода от источника питания и нажмем пусковую кнопку. Лампа вспыхнула. Теперь для того, чтобы увидеть, что происходит в лазере, нам потребуется «лупа времени», позволяющая рассмотреть подробности событий, происходящих в миллионные доли секунды. Этой лупой послужит наше воображение.

Итак, лампа вспыхнула. Поток световой энергии обрушился на вещество стержня. Его атомы быстро переходят в возбужденное состояние. С каждым мгновением таких возбужденных атомов становится все больше и больше. Но долго в возбужденном состоянии они не живут, в среднем всего одну стомиллионную долю секунды, а потом переходят в нормальное, невозбужденное состояние. На рисунке видно, как один атом испустил квант света, за ним — другой, третий... Но кванты эти летят почти поперек стержня. Поэтому, заставив по дороге излучить в том же направлении еще несколько атомов, они быстро его покидают. А лампа горит, и излучившие свет атомы вновь возбуждаются. Но вот совершенно случайно несколько атомов излучили кванты вдоль оси стержня. После каждого столкновения с атомами

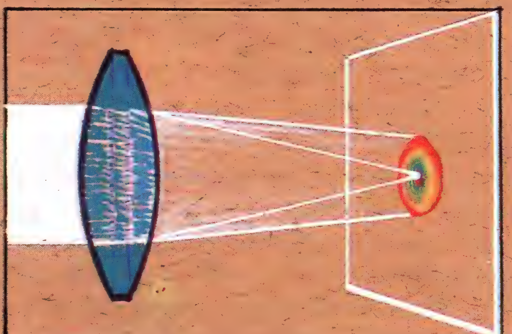


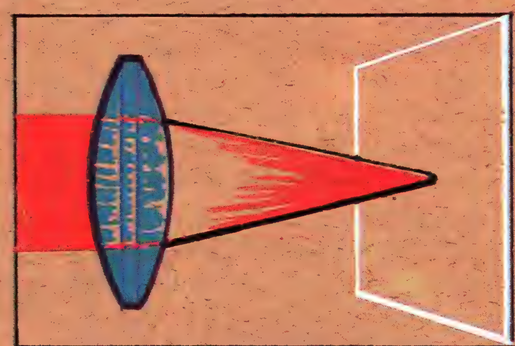
Так устроен лазер на рубине. Импульсная лампа с зеркальным отражателем «накачивает» энергию в рубиновый стержень. В веществе стержня, возбужденном световой вспышкой, возникает лавина фотонов. Отражаясь в зеркалах, она усиливается и вырывается наружу лазерным лучом.





Преломляясь в призме, луч белого света превращается в яркую радугу — спектр, а одноцветный, монохроматический свет проходит через нее не разлагаясь. Линза тоже преломляет лучи, собирая их в фокус. Поэтому белый свет она фокусирует в радужное пятнышко, а лазерный луч — в крошечную точку.

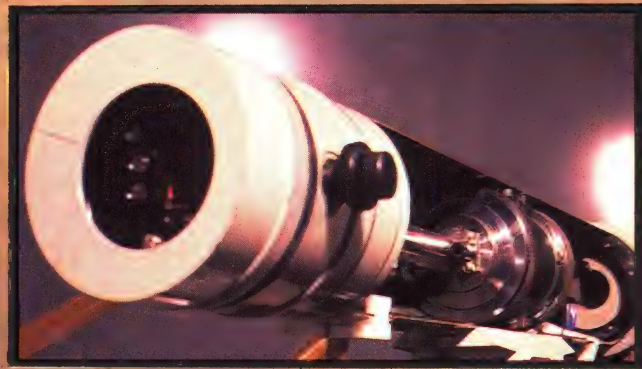




Первый отечественный лазер (внизу слева). Видны отражатель с рубиновым стержнем, лампа накачки и батарея конденсаторов для ее питания. Справа — современный мощный лазер с водяным охлаждением. Крышки с обоих приборов сняты.



$$\text{МОЩНОСТЬ} = \frac{\text{ЭНЕРГИЯ}}{\text{ВРЕМЯ}}$$



число квантов удваивается, поток излучения движется вдоль стержня и растет, как лавина. Отражаясь в зеркалах, излучение многократно пронизывает стержень, заставляя все атомы без исключения нести свою долю энергии в общий поток света. Сквозь полупрозрачное зеркало-окошко этот свет вырывается наружу. Вспышка! Ее длительность около одной миллионной доли секунды. А лампа все еще горит, и через три миллионных доли секунды все повторится снова. И опять, и опять, до тех пор, пока яркости света уже потухающей лампы-вспышки не станет мало для поддержания генерации. Лампа накачки горит около одной тысячной секунды, четверть этого времени она разгорается, столько же времени погасает. Но и за оставшееся время лазер успевает сделать около двухсот вспышек, слитых в один световой импульс длительностью несколько десятитысячных секунд. На скоростном снимке видно, что он похож на гребенку и состоит из множества коротеньких пиков — отдельных световых вспышек. Поэтому такой режим работы лазера называется пичковым, или режимом свободной генерации.

Именно так был сделан и работал первый лазер, построенный на кристалле рубина в 1960 году.

Но не вся энергия света лампы накачки преобразуется в лазерную вспышку. Большая ее часть — увы! — уходит на бесполезный и даже просто вредный нагрев стержня и зеркала. Мощные импульсные лазеры охлаждают потоком воздуха, воды, а иногда и жидким азотом. Частота повторения импульсов зависит от того, насколько хорошо стержень лазера выдерживает высокую температуру. Неодимовые и рубиновые лазеры дают одну-две вспышки в секунду, лазер на гранате — несколько сотен. Рекордная частота генерации для импульсного лазера — двенадцать миллионов вспышек в секунду. Излучение таких лазеров воспринимается уже как непрерывное.

Так что же получается, спросите вы? Импульс света лампы просто превратили в импульс света лазера да еще с потерями. Стоило ли огород городить?!

Стоило. Свет этот, полученный с таким трудом, имеет массу необычных свойств.

Во-первых, луч его идет, почти не расширяясь. Для того чтобы луч прожектора не расходился, используют большое вогнутое зеркало и систему линз, собирающие свет от лампы в пучок. Это помогает, но мало: уже на расстоянии километра от прожектора луч становится раза в два шире. Лазеру же собирающие зеркала и линзы не нужны. Он и без них сам по себе излучает почти параллельный пучок света, потому что в

излучении участвуют только те кванты, которые идут вдоль оси стержня.

Во-вторых, свет, излучаемый лазером, монохроматичен, он имеет только одну длину волны, один цвет. Белый свет, состоящий из смеси многих длин волн, проходя через оптические детали — линзы и призмы,— может разлагаться на простые цвета; все видели радугу на небе или на стене, когда свет солнца, как в призмах, разложился в каплях воды, на краю зеркала или стекла буфета.

С лазерным лучом этого не произойдет, поэтому его можно сфокусировать в пятно диаметром 0,01 мм.

В-третьих, хотя лазер и использует небольшую долю «накачанной» в него энергии, мощность его вспышки может быть очень велика: сотни и тысячи ватт. Это происходит потому, что мощность вспышки равна ее энергии, деленной на ее длительность — тысячные доли секунды.

Мощность электродвигателя, паровой машины, нагревателя, потока излучения и вообще любая мощность измеряется в ваттах.

Лампочка, горящая в настольной лампе, имеет мощность 40—60 ватт, утюг — 500 ватт, электроплитка — 1000—2000 ватт, то есть 1—2 киловатта, двигатель автомобиля «Москвич» — 40—60 киловатт, а моторы мощного самосвала развивают мощность до 2,5 мегаватт (миллионов ватт).

В этой книге часто будет упоминаться мощность лазерного излучения, тоже измеряемая в ваттах, киловаттах и мегаваттах. Чтобы эти названия не были пустым звуком, попытаемся представить себе, что такое киловатт энергии и насколько велик мегаватт.

Киловатт энергии может нагреть до кипения ложку воды за одну секунду. Нагреватель мощностью в 400 киловатт за то же время вскипятит литр воды, а источник тепла мощностью 1 мегаватт ежесекундно будет давать 2,5 литра кипятка.

Вспомнив, как долго закипает на плите чайник, можно составить некоторое представление о том, какие мощности скрыты в лазерном луче.

Солнце, имея температуру шесть тысяч градусов, на одной длине волны излучает мощность в сотые доли ватта. А лазер — тысячи ватт. Возникает вопрос: до какой температуры пришлось бы нагревать вещество, чтобы оно стало светиться так же ярко, как лазер? Ответ получается ошеломляющим. Лазер излучает свет такой же яркости, как тело, нагретое до температуры несколько тысяч миллиардов градусов! Сам он при этом остается холодным. Во всяком случае, те сто — двести градусов, на которые он может

Вспышка! Лазер отдает накачанную энергию за одну десятитысячную долю секунды.

нагреться,— ничто по сравнению с температурой, которой не выдержит ни одно вещество на свете.

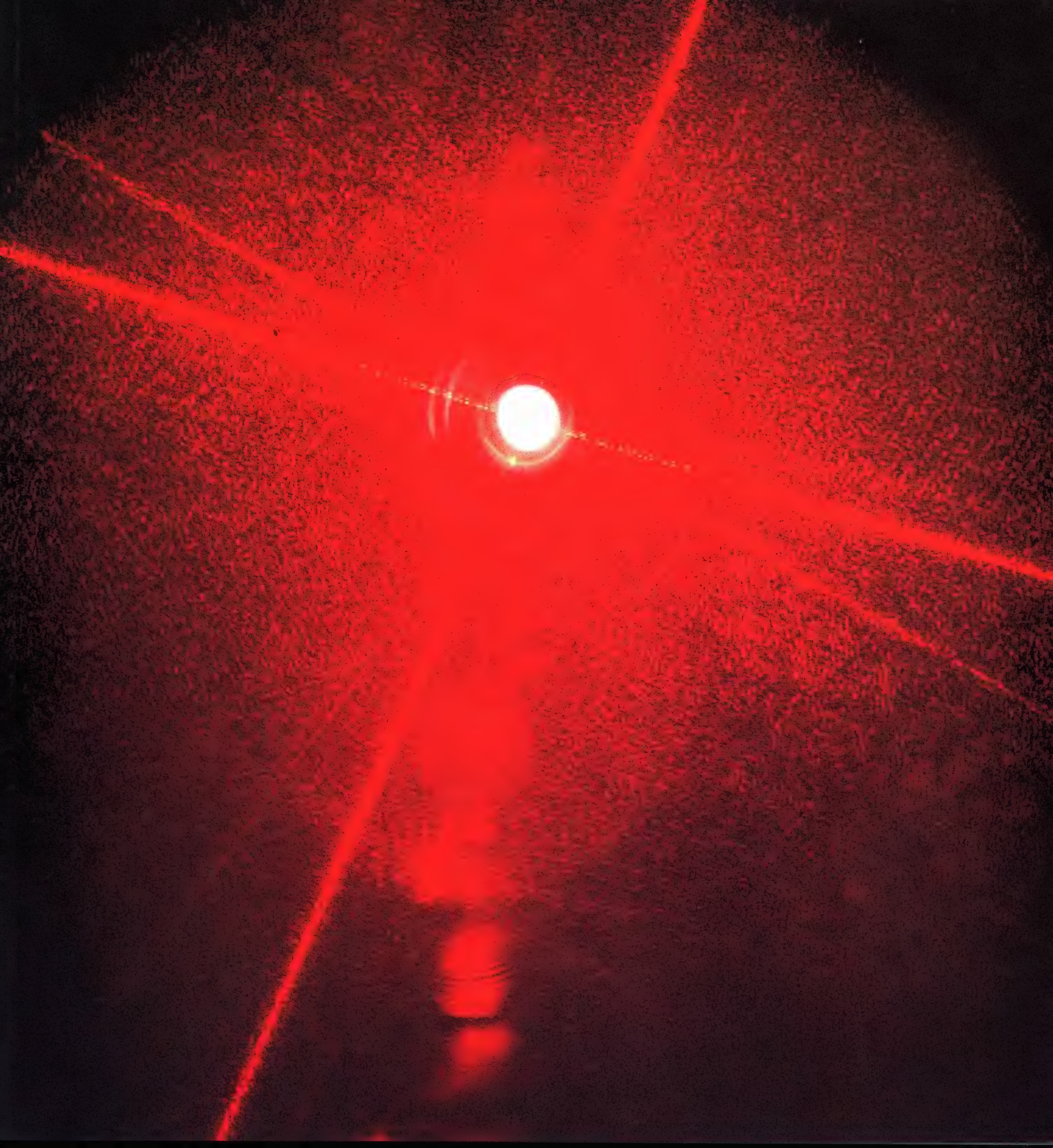
Вот что такое импульсный лазер. Его вспышка несет огромную мощность — тысячи ватт. Мощность эту можно повысить, увеличив размеры всего лазера. А можно позади лазера поставить еще один лазерный стержень с лампой-вспышкой, то есть еще один лазер, но без зеркал. Импульс света первого лазера заставит сработать второй. Оба световых импульса, сложившись, удваивают энергию вспышки.

Но вот беда: с увеличением длины стержня растет и длительность импульса — пока все атомы в длинном стержне испустят световые кванты, пройдет время. Кроме того, размеры стержня нельзя увеличивать беспредельно: чем больше стержень, тем больше потери света в нем. Дополнительная энергия, приобретенная с таким трудом за счет излучения нового участка стержня, полностью теряется из-за поглощения света этим же участком. Поэтому стержни даже из лучших материалов нет смысла делать длиннее 50—60 сантиметров, это просто не даст почти ничего, кроме заметного удорожания лазерных деталей. А они и без того недешевы. Значит, этот путь не может нам дать большого увеличения мощности излучения. Но остается другой: что, если сократить время вспышки, вогнать всю ее энергию в сотни, в тысячи раз меньший промежуток времени? Тогда во столько же раз возрастет и ее мощность! Она будет тогда измеряться уже миллионами ватт. Получится в буквальном смысле

ГИГАНТСКИЙ ИМПУЛЬС

Закроем заднее стекло до тех пор, пока горящая лампа-вспышка не накачает энергию в атомы стержня. Все атомы возбуждены, а генерация начаться не может: путь для света закрыт затвором.

Если теперь на мгновение открыть затвор, то все атомы одновременно испустят световые кванты. Вся энергия вспышки, раньше выделявшаяся в виде нескольких сот импульсов, теперь оказалась спрессована в один, длительностью в миллиардные доли секунды, импульс. Его мощность можно сравнить с мощностью нескольких крупных электростанций, таких, как Братская ГЭС. Это излучение, да еще сфокусированное в крошечное пятнышко, можно применить для многих целей, мы еще поговорим о них. Но все-таки это — короткий световой импульс. Конечно, им можно пробить отверстие, сварить две проволочки и сделать много других полезных дел. Но для многих задач гораздо удобнее



было бы непрерывное лазерное излучение, скажем, для сварки или резки. Существует и такое. Его дают

ГАЗОВЫЕ ЛАЗЕРЫ

Они были созданы почти одновременно с рубиновыми лазерами, в том же 1960 году. Их рабочее вещество — различные газы, заключенные в стеклянные трубки. Давление газов в этих трубках очень низкое, в сотни раз меньше атмосферного. На концах трубки — окошки, через которые луч света выходит наружу. Трубка, конечно, помещается между зеркалами. Словом, все, как в импульсном лазере. Только лампы накачки нет. Газы при низком давлении хорошо проводят электрический ток, поэтому их атомы можно возбуждать просто электрическим разрядом. Ток подводится через проволочки — электроды, впаянные в стеклянную трубку. Трубка с возбужденным газом светится, как рекламная надпись в витрине магазина, а из ее торцов выходят лучи разного цвета, смотря по тому, какой газ в нее заключен. Смесь гелия с неоном дает красный луч, аргон — синий, ксенон — зеленый, криптон — желтый, а углекислый газ — невидимый тепловой, инфракрасный луч.

Есть даже лазер на водяных парах. Такая «паровая машина» конца XX века дает мощное тепловое излучение. Длина его волны чуть больше одной десятой миллиметра. Это самое длинноволновое излучение, полученное при помощи лазера.

Разреженный газ в лазерной трубке очень мало рассеивает свет. Возбуждается газ электрическим разрядом, который проходит через всю толщу газа не затухая. Поэтому размеры трубок газовых лазеров можно делать очень большими: лазер длиной 5—10 метров — вещь довольно обычная. Мощность его излучения может достигать тысячи ватт (то есть одного киловатта). Этого достаточно, например, чтобы разрезать лист стали толщиной один миллиметр. А если нужно обрабатывать большую деталь? Для лазерной сварки и резки листовой стали необходим один киловатт излучения на каждый миллиметр толщины листа. То есть для обработки стали толщиной пять миллиметров мощность лазера должна быть пять киловатт. Разрядная трубка такого лазера будет иметь длину около ста метров. Многовато...

Но что делать! Плотность газов во много раз меньше плотности твердых тел, а значит, и в каждом кубическом сантиметре газа нельзя получить столько же возбужденных атомов, излучающих свет, как в твердотельном лазере.

«То есть как «что делать»? — можете сказать вы.— Нужно увеличить давление газа в трубке. Не сотые доли атмосферы, а десятки, сотни атмосфер. Тогда и количество активных атомов возрастет в тысячи раз, и во столько же раз повысится мощность!»

Пробовали. Не получается. Электрический разряд при повышении давления газа перестает проходить через весь его объем, а как молния проскакивает по узкому каналу, мгновенно нагревая его до температуры в сотни градусов. Лазерный эффект при этом исчезает.

Вот если бы удалось быстро заменить уже отработанное, излучившее вещество на свежее, с только что возбужденными атомами! Что-то вроде револьверного барабана, только в нем не патроны, а газовые трубки или стержни. Движутся они между зеркалами так быстро, что их вспышки сливаются в непрерывное излучение. По дороге к зеркалам рабочее вещество успевает остыть, отдохнуть и в нужный момент вновь готово к работе.

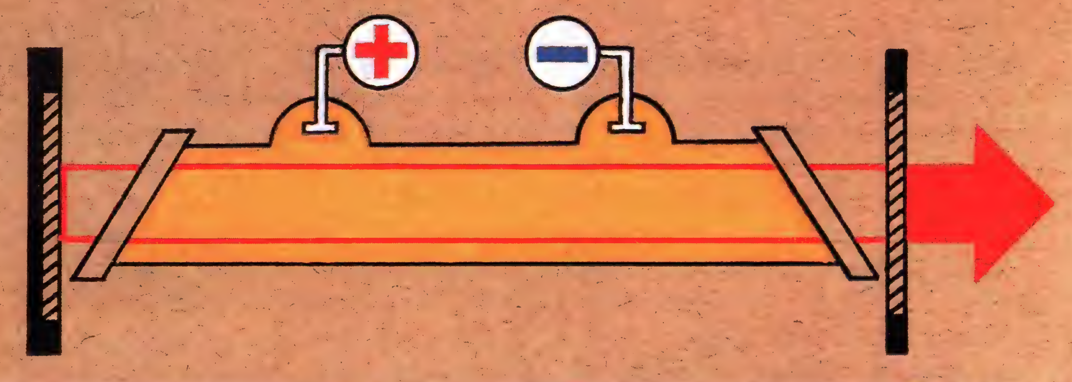
Но зачем двигать всю трубку? Ведь в ней газ. Его можно просто прокачивать между зеркалами, а по дороге охлаждать. Электроды, между которыми происходит разряд, можно сделать в виде колючей щетки: с каждого острия стекает отдельный заряд, а все вместе они возбуждают газ во всем объеме между зеркалами. Теперь и давление газа можно повысить — возле многосекционного электрода он успеет возбудиться весь.

Именно так работает уникальная установка ЛТ-1, созданная для промышленных целей физиками Московского государственного университета и Института атомной энергии. Полигоном для ее испытаний был выбран ЗИЛ — автомобильный завод имени Лихачева.

Мощность ЛТ-1 достаточно велика — пять киловатт. Его разрядная камера прямоугольного сечения имеет высоту 20 см, ширину 4 см и длину... 90 сантиметров (вспомните о 100 метрах длины обычного лазера!). Работает он на углекислом газе, который прокачивается насосом по замкнутой трубе. По дороге газ проходит через холодильник и остывает там до нормальной, рабочей температуры. Поэтому лазер может работать непрерывно целую рабочую смену — семь-восемь часов.

Четыре зеркала лазера позволяют излучению трижды проходить через рабочий объем установки. Зеркала сделаны из полированного металла. Выходное зеркало немного меньшего размера, чем остальные. Из-за этого луч, выходящий из установки, имеет форму трубы. Но это работе не мешает: сфокусировав его в точку, можно получить плотность

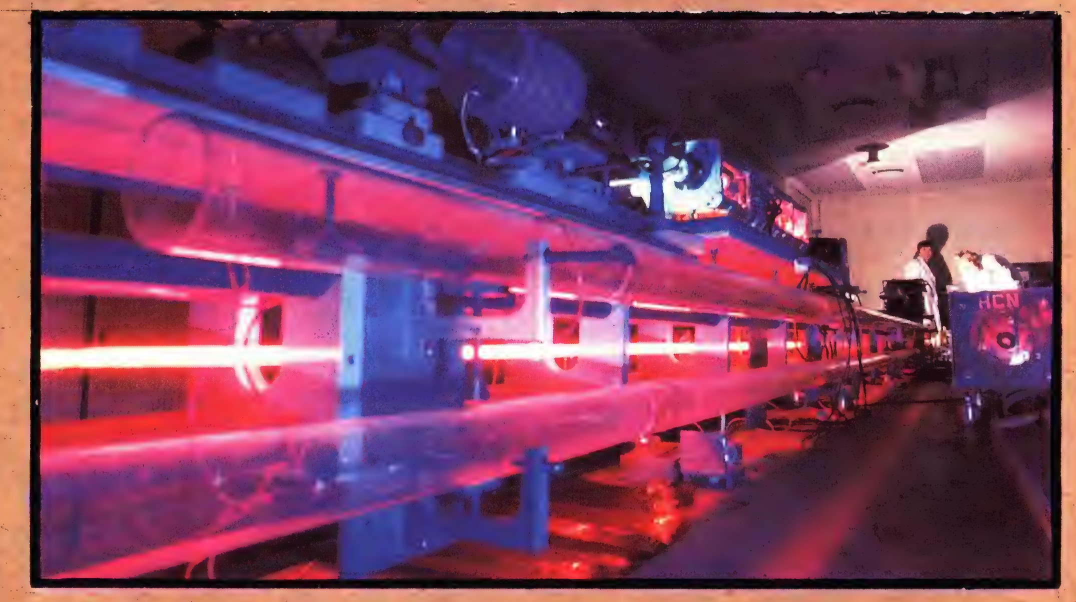
В газовых лазерах между зеркалами находится запаянная трубка с газом, который возбуждается электрическим током.



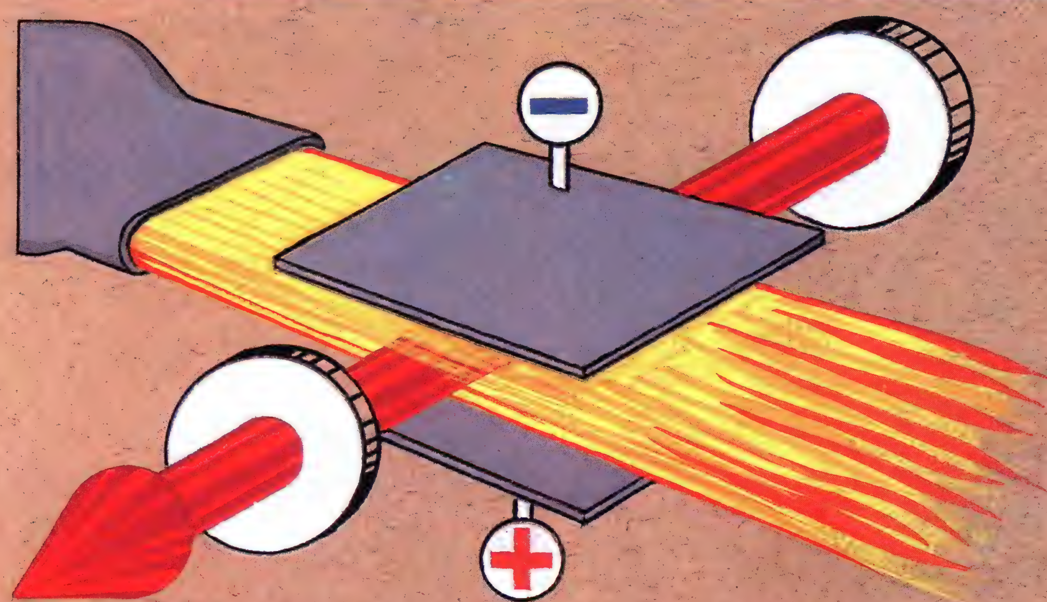




Трубка газового лазера во время работы светится, как газосветная реклама. По ее цвету можно узнать, на каком газе работает лазер: неон светится красным светом, криптон — желтым, аргон — синим.



Мощный газовый лазер. Его длина — несколько метров.



В мощном газодинамическом лазере свет рождает струя раскаленного газа при давлении в десятки атмосфер. Его корпус собран из прочной стали.

энергии до десяти миллионов ватт непрерывного излучения. Меняя площадь пятна на обрабатываемой поверхности, а значит, и энергию, на нее попадающую, можно резать, сваривать и закаливать стальные детали.

А что, если этот поток газа разогнать еще сильнее? Скажем, до сверхзвуковых скоростей, с какими вылетает поток раскаленных газов из реактивного двигателя. Мощность лазера должна повыситься во много раз — ведь число возбужденных атомов, излучающих свет, резко возрастет. Идея была очень заманчивой, и такой лазер вскоре был сконструирован. Процессами, происходящими при сверхзвуковых скоростях движения газа, занимается раздел физики, называемый газовой динамикой. Поэтому и новорожденное устройство назвали

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ЛАЗЕР

Он действительно похож на реактивный двигатель и работает так же. В его камере сгорания сжигается угарный газ (окись углерода) с добавкой топлива (керосина, бензина, спирта). Получившаяся при этом смесь газов состоит из углекислого газа, азота и паров воды. Молекулы газов возбуждены и готовы к работе: ведь температура в камере сгорания доходит до тысячи с лишним градусов, а давление — до 20 атмосфер. Эти раскаленные газы из камеры сгорания вытекают через расширяющееся реактивное сопло, его еще иногда называют соплом Лаваля. В нем газ разгоняется до сверхзвуковой скорости, охлаждаясь почти до нуля! Проносясь между зеркалами, молекулы газа начинают отдавать энергию в виде световых квантов, рождая лазерный луч, мощность которого 150—200 киловатт. И это мощность не отдельной вспышки, а постоянного, устойчивого луча, сияющего, пока у лазера не кончится горючее.

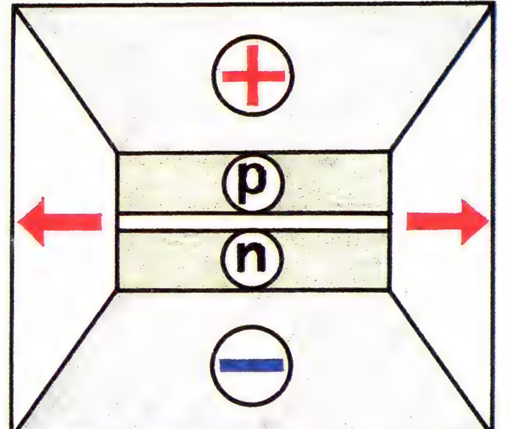
Непривычное сочетание «лазерное горючее», не правда ли? Представим себе диалог: «Наш лазер работает на керосине, а ваш?» — «На дровах...» Лазер превратился в тепловую машину. Или, если хотите, наоборот: тепловая машина — в лазер. Очень странно, но факт: простое сжигание топлива дает лазерное излучение. Тепловая энергия, одна из простейших форм энергии, знакомая человеку с древнейших времен, сразу рождает одну из ее высших форм: упорядоченное, когерентное и монохроматичное излучение. Вот какие дали осветил костер пещерного человека...

Но не только газовые лазеры дают непрерывное излучение. Его дает и

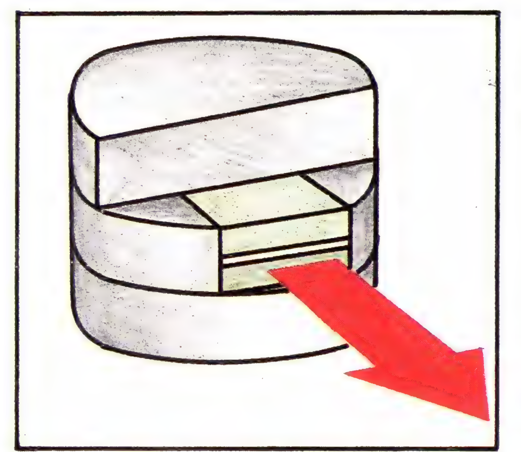
Газодинамический лазер

ПОЛУ-ПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР

С давних времен было известно, что одни вещества могут проводить электрический ток, а другие — нет. К первой группе, к проводникам, относятся прежде всего металлы. Стекло, фарфор, смолы и другие вещества не проводят электричества и называются изоляторами. Но гораздо позднее было установлено, что есть и третья группа веществ, которые занимают промежуточное место между первыми двумя. Они проводят ток, но плохо. А раз они хоть как-то проводят ток, то уже не могут служить и изоляторами. Вот и считали их долгое время каким-то курьезом природы, ни на что в особенности не годным. Однако потом было открыто, что проводимость полупроводников сильно зависит от разных внешних воздействий: ее может изменить нагрев, охлаждение, освещение, магнитное поле и бомбардировка заряженными частицами. Из полупроводниковых материалов можно построить прибор — диод, который в одном направлении проводит ток, а в другом — нет. А отсюда один шаг до других радиодеталей, применяемых в передатчиках и приемниках,— в современной аппаратуре вы уже почти не найдете ламп, их



В полупроводниковом лазере излучает слой между двумя полупроводниками разного сорта (их для краткости обозначают латинскими буквами p и n).



Через этот слой — не толще листа бумаги — пропускают электрический ток, возбуждающий его атомы.



Весь лазер вместе с электрическими контактами получается чуть больше пуговицы.

заменили полупроводниковые приборы.

И лишь совсем недавно, в 60-х годах, было установлено, что полупроводники — превосходный материал для лазеров.

Если соединить вместе две пластины из полупроводников разных типов, то посередине образуется так называемая «переходная зона». Атомы вещества, находящиеся в ней, способны возбуждаться при прохождении электрического тока поперек зоны и генерировать свет. Зеркалами, необходимыми для получения лазерного излучения, могут служить полированные и посеребренные грани самого кристалла полупроводника.

Среди этих лазеров по праву лучшим считается лазер на основе арсенида галлия — соединения редкого элемента галлия с мышьяком. Его инфракрасное излучение имеет мощность до десяти ватт. Казалось бы, немного, если вспомнить о тех тысячах ватт, про которые мы говорили в предыдущей главе. Но эти десять ватт снимаются с излучающего слоя толщиной всего 0,002 миллиметра и длиной один миллиметр! А если этот лазер охладить до температуры жидкого азота (–200°), мощность его излучения можно увеличить в десять раз. Это значит, что при площади излучающего слоя в 1 см^2 мощность излучения достигла бы миллиона ватт! Но, к сожалению, полупроводник с переходным слоем такого размера изготовить пока невозможно по техническим причинам. Однако технология производства полупроводниковых материалов непрерывно совершенствуется, и, может быть, мы совсем скоро услышим о сверхмощных лазерах размером со спичечный коробок.

Есть и другие идеи, позволяющие получить большие мощности излучения. Можно возбуждать атомы полупроводника пучком электронов (как в твердотельных лазерах — лампой-вспышкой). Электроны проникают глубоко внутрь вещества, возбуждая большее количество атомов; ширина излучающей зоны оказывается раз в сто шире, чем при возбуждении электрическим током. Поэтому мощность излучения таких лазеров с электронной накачкой достигает уже двух киловатт.

Крошечные размеры полупроводниковых лазеров делают их очень удобными для применения там, где нужен миниатюрный источник света большой мощности. Но за все приходится расплачиваться: уменьшив донельзя размеры лазера, мы затруднили его охлаждение. А сокращение расстояния между его зеркалами привело к ухудшению качества излучения по сравнению со светом газовых лазеров: монохроматичность его стала ниже, расходимость луча — больше. Может быть,

Полупроводниковый лазер

поправить дело, слегка поступившись миниатюрностью прибора?

Так родилась идея «излучающего зеркала». Конструкция его проста до предела. На поверхность металлического зеркала наносится слой полупроводника. На некотором расстоянии от него, параллельно ему, укрепляют второе, выходное полупрозрачное зеркало. На слой полупроводника направляют «электронный прожектор», посылающий поток электронов. Все это устройство помещают в колбу, из которой откачан воздух. Задняя поверхность первого зеркала охлаждается потоком жидкости.

Пучок электронов можно сделать любой нужной ширины. Кристалл полупроводника, излучающий свет уже всей своей поверхностью, может иметь площадь несколько квадратных сантиметров. Поэтому можно ожидать, что такой лазер будет генерировать непрерывное излучение мощностью несколько сотен киловатт. А раз зеркала его отстоят друг от друга далеко, то и качество излучения улучшится.

И наконец, есть еще один тип лазеров, отличающийся по виду своего рабочего вещества от всех прочих. Мы уже видели, что лазерный эффект может быть получен в газах и твердых телах (включая сюда полупроводники). Нетрудно догадаться, что на очереди

ЖИДКОСТНЫЙ ЛАЗЕР

Сконструировали его, конечно, не для того, чтобы заставить работать в лазерах вещества во всех их трех состояниях — твердом, жидком и газообразном,— чтобы, как говорится, никому обидно не было. Дело здесь в другом: у лазера каждого типа есть свои достоинства и недостатки.

В твердых веществах можно создать большую концентрацию излучающих атомов и, значит, получить большую энергию с одного кубического сантиметра стержня. Но их трудно делать, они дороги и к тому же могут лопаться из-за перегрева во время работы в самый неподходящий момент.

Газы очень однородны оптически, рассеяние света в них мало, поэтому размер газового лазера может быть весьма внушительным: длина 10 метров при диаметре 10—20 сантиметров для него не предел. Но такое увеличение размера никого не радует. Это вынужденная мера, необходимая для того, чтобы компенсировать ничтожное количество активных атомов газа, находящегося в трубке лазера под давлением в сотые доли атмосферы. Прокачка газа несколько спасает дело, позволяя уменьшить размер излучателя (помните, 90 сантиметров вместо

Лазеры на красителях можно легко перестраивать, так что они дают лучи разных цветов.

100 метров в установке ЛТ-1). Но для того, чтобы гонять газ по замкнутому кругу, нужен насос, холодильник, различные фильтры... А в результате та же ЛТ-1 занимает площадь двадцать квадратных метров при высоте установки около трех метров...

Жидкости объединяют в себе достоинства и твердых и газообразных лазерных материалов: плотность их всего в два-три раза ниже плотности твердых тел (а не в сотни тысяч раз, как плотность газов). Поэтому количество их атомов в единице объема примерно одинаково. Значит, жидкостный лазер легко сделать таким же мощным, как лазер твердотельный. Оптическая однородность жидкостей не уступает однородности газов, а значит, позволяет использовать большие ее объемы. К тому же жидкость тоже можно прокачивать через рабочий объем, непрерывно поддерживая ее низкую температуру и высокую активность ее атомов.

Наиболее широко распространены

ЛАЗЕРЫ НА КРАСИТЕЛЯХ

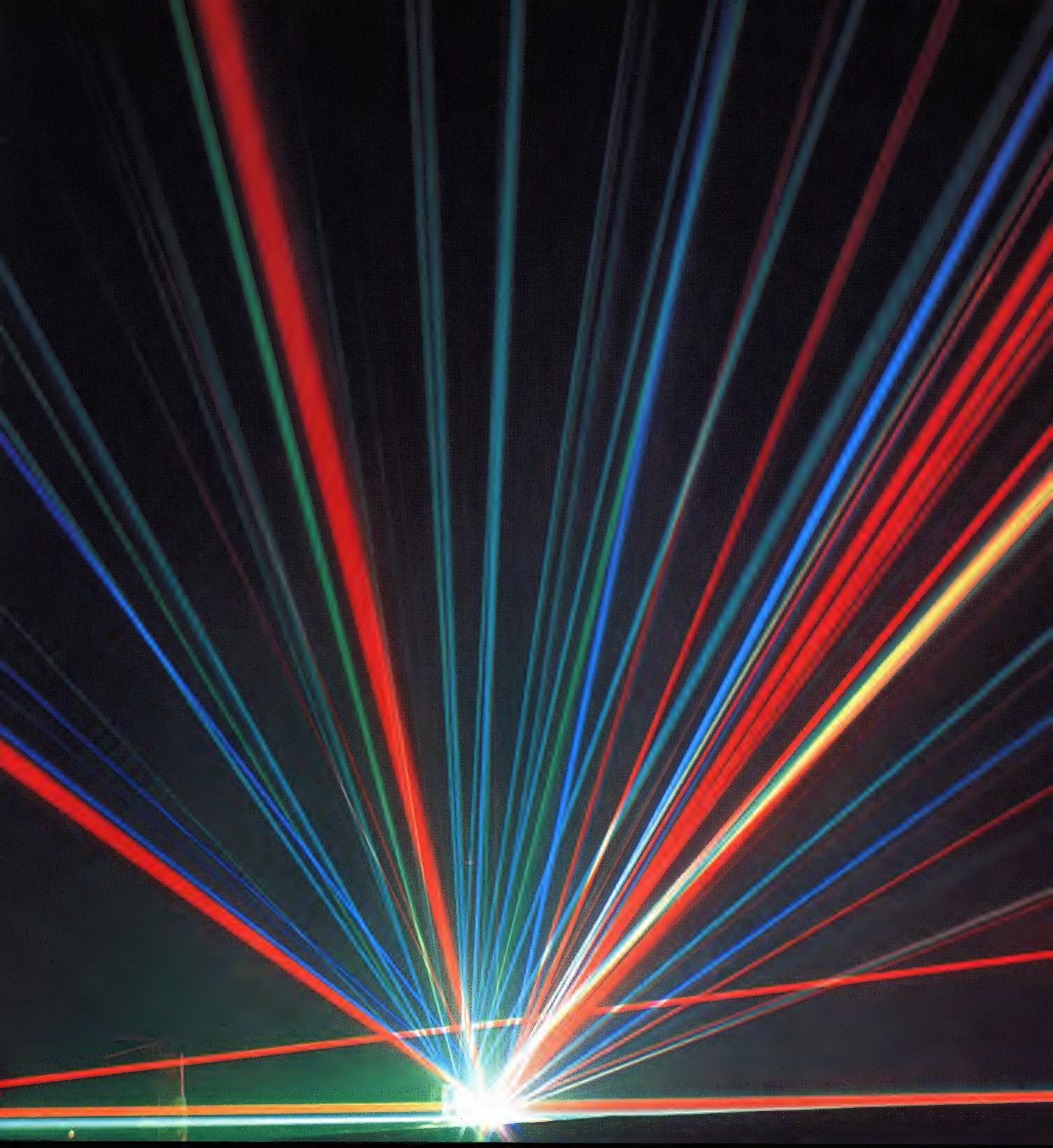
Называются они так потому, что их рабочая жидкость – раствор анилиновых красок (вроде тех, которыми хозяйки дома красят шерсть и хлопок) в воде, спирте, кислоте и других растворителях. Жидкость налита в плоскую ванночку-кювету. Кювета, разумеется, установлена между зеркалами. Энергия молекулы красителя «накачивается» оптически, только вместо лампы-вспышки на первых порах использовались импульсные рубиновые лазеры, а позднее – лазеры газовые. Лазер-накачку внутрь жидкостного лазера не встраивают, а помещают в сторонке, вводя его луч в кювету через окошко в корпусе. Сейчас, правда, удалось добиться генерации света и с импульсной лампой, но не на всех красителях.

Растворы могут излучать импульсы света различной длины волны – от ультрафиолета до инфракрасного света – и мощностью от сотен киловатт до нескольких мегаватт (миллионов ватт), в зависимости от того, какой краситель налит в кювету.

Лазеры на красителях обладают интересной особенностью.

Все лазеры излучают строго на одной длине волны (это явление, как вы помните, называется монохроматичностью). Это их свойство лежит в самой природе вынужденного излучения атомов, на котором основан весь лазерный эффект.

В больших и тяжелых молекулах органических красителей вынужденное излучение возникает сразу в широкой полосе длин волн. Чтобы добиться от лазера



Лазер на красителях со снятой верхней крышкой. Раствор анилиновых красок — его рабочее вещество — наливают в кювету и во время работы прокачивают через холодильник (он виден на снимке внизу справа). Накачкой служит газовый лазер; его луч вводят в кювету через окошко с соответствующей надписью. Меняя кюветы с раствором и перестраивая поворотным зеркалом выходной светофильтр, можно изменять длину волны излучения в очень широких пределах.





Лазеры на красителях помогают следить за состоянием атмосферы. Современные города накрыты «колпаком» пыльного, закопченного воздуха. О степени его загрязнения можно судить по тому, насколько сильно в нем рассеиваются лазерные лучи с разной длиной волны. В чистом воздухе свет не рассеивается, его лучи становятся невидимыми.

на красителях монохроматичности, на пути луча становится светофильтр. Это не просто окрашенное стеклышко, какое, например, служит фильтром при фотографировании. Он представляет собой набор стеклянных пластин, которые пропускают только свет одной длины волны. Меняя расстояние между пластинами, можно слегка изменить длину волны лазерного излучения. Такой лазер называется перестраиваемым. А для того, чтобы лазер мог генерировать свет в разных участках спектра — переходить, скажем, от синего к красному свету или от ультрафиолетового к зеленому,— достаточно сменить кювету с рабочей жидкостью. Именно так работает перестраиваемый лазер «Радуга», созданный белорусскими физиками. Он имеет десять кювет с разными красителями, которые укреплены на вращающемся переключателе диапазонов излучения. В пределах каждого диапазона излучение можно подстраивать при помощи фильтра. Благодаря всему этому лазер может излучать свет любой длины волны — от ультрафиолетовых до тепловых, инфракрасных, лучей; полоса излучения у него широкая.

Если несколько лет назад подобные лазеры были уникальными устройствами, которые использовались только для лабораторных, исследовательских целей, то теперь они приобрели немало профессий. Наиболее перспективны они оказались для исследования структуры вещества. Перестраивая частоту излучения, можно узнать, свет какой длины волны поглощается или рассеивается на пути луча. Таким способом можно определить состав атмосферы и облаков на расстоянии до двухсот километров, измерить загрязненность воды или воздуха, указав сразу, какого размера частицы его загрязняют. То есть можно построить прибор, автоматически и непрерывно контролирующий чистоту воды и воздуха! И такой прибор уже построен. Лазерный луч ощупывает воздушное пространство над городом, чувствительные приборы измеряют силу рассеянного света и записывают результат на бумажную ленту. Когда количество частиц грязи в воздухе возрастает сверх нормы, прибор включает сигнал тревоги.

Но — интересное явление! — наряду с широкополосными жидкостными лазерами существуют и такие, у которых, наоборот, монохроматичность гораздо выше, чем у лазеров на твердом теле или на газе. И привела к созданию таких лазеров очень простая идея.

Если существуют лазеры, где свет излучают атомы редкого элемента неодима, с солями которого сварена стеклянная масса, то почему бы эти соли не растворить и

не залить их в кювету? Свойства таких жидкостей не ограничивают размера кюветы (твердые стержни, как вы помните, бессмысленно делать длиннее 50—60 сантиметров), а ширина полосы излучения такого лазера становится в сто раз у́же, чем у твердотелого лазера на неодимовом стекле.

«Но позвольте,— может сказать тот, кто внимательно читал первую главу,— ведь лазер монохроматичен, то есть излучает свет одной длины волны. О какой же полосе излучения идет речь?»

На самом деле любой лазер излучает свет в пределах какого-то интервала длин волн, правда, очень узкого интервала. Поэтому, строго говоря, абсолютной монохроматичности излучения не существует — это некоторая идеализация. Длина волны света лазера может «гулять», укорачиваясь и удлиняясь примерно на одну сотую (у хороших лазеров). Чем меньше расстояние между зеркалами, тем эта полоса шире. У полупроводниковых лазеров, например, она составляет уже несколько длин волн, а у лазера на основе солей неодима эта полоса — одна десятитысячная!

Такое постоянство длины волны можно получить только у больших газовых лазеров, да и то, если принять всяческие необходимые для этого меры: обеспечить устойчивость температуры трубки, силы тока, ее питающего, и включить в схему лазера систему автоматической подстройки длины волны излучения. Мощность излучения при этом должна быть минимальной: при ее повышении полоса расширяется. Зато в жидкостном неодимовом лазере узкая полоса излучения получается сама собой и сохраняется даже при заметном повышении мощности излучения, а это крайне важно для всякого рода точных измерений — световая волна служит для них как бы линейкой с делениями. Уложился на каком-то отрезке, скажем, миллион длин волн, умножим это число на длину волны, получим длину отрезка. Поэтому от того, насколько аккуратно разбита линейка на эти деления, то есть насколько точно выдерживается длина волны света, излучаемого лазером, зависит и точность измерений. Уменьшение полосы излучения лазера в сто раз сулит стократное увеличение точности измерения длин!

Вот что вкратце можно рассказать обо всех лазерах, и уже существующих, работающих в лабораториях и на заводах, и о тех, которые вот-вот выйдут из стадии разработки и тоже займут свое место в промышленности, быту и науке.

А в природе? Существует ли в природе нечто, похожее на квантовый генератор?

Свет, проходя по веществу, им поглощается, и тем сильнее, чем



длиннее его путь. Это было известно давно и казалось, что иначе и быть не может. Поэтому, когда возникло предположение, что свет, проходя по веществу, может не затухать, а усиливаться (а для этого всего-навсего нужно, чтобы показатель поглощения в формуле имел другой знак!), это было воспринято, как математическая забава, никакого физического смысла не имеющая. Когда же, спустя несколько десятков лет, был сделан первый лазер, то оказалось, он усиливает свет именно потому, что знак показателя поглощения у него другой!

Лазер—творение человеческих рук, в природе таких условий быть не может! Так решило большинство ученых. Но прошло несколько лет, и астрономы обнаружили, что далекие галактики, излучающие радиоволны, работают как исполинские мазеры – квантовые генераторы, испускающие электромагнитные волны длиной до нескольких сантиметров. В огромных газовых облаках, размером в миллиарды километров, возникают условия для генерации, а накачкой служит космическое излучение. Обнаружился природный квантовый генератор и у нас под боком: судя по всему, атмосфера Марса излучает в инфракрасном диапазоне как огромный лазер! Природные квантовые генераторы обходятся без зеркал: ведь зеркала нужны только для того, чтобы создать поток фотонов нужной величины, а в многокилометровых толщах газа такие потоки возникают сами собой. Зато излучение таких природных лазеров разлетается во все стороны, оно ненаправленно. Уже существует проект: запустить два спутника с огромными зеркалами (одно глухое, другое полупрозрачное) вокруг Марса так, чтобы эти зеркала все время оставались параллельными. Получится газовый лазер длиной несколько тысяч километров. Мощнейшее излучение, бьющее из него, послужит источником энергии для внеземных лабораторий.

Но это – дело далекого будущего, а сейчас речь пойдет об изобретении, которому, возможно, предстоит совершить подлинную революцию в современной технике, особенно в технике связи. Речь пойдет о том,

КАК ПУСТИЛИ ЛАЗЕРНЫЙ ЛУЧ ПО ПРОВОДАМ

Всем хорош лазерный луч: он может нести огромную энергию, может передавать сигналы, как радиоволны или электрический ток. Но электрический ток от генератора или батареи можно пропускать по проводам, проложенным в земле или подвешенным на столбах. Провода можно изогнуть

Сегодня — фантастика, а завтра – реальность? Правда, в деталях все будет выглядеть наверняка совсем не так, как мы способны представить себе это сейчас...



как угодно и выбрать наиболее удобный путь для их прокладки.

Луч света как будто изогнуть нельзя, он обычно распространяется строго прямолинейно. Его можно «сломать», поставив на его пути зеркала или призмы. Но это не выход: чтобы обогнуть препятствие, на пути луча нужно поставить столько призм, сколько поворотов он должен сделать.

А что, если луч пустить по гибкой трубке с зеркальными стенками? Ее можно изогнуть как угодно, а луч света будет отражаться от стенок и идти вперед.

Впрочем, зачем обязательно по трубке? Ведь свет не газ и не жидкость, которые нужно перекачивать. Его можно пустить и по сплошному стеклянному стержню. Да и серебрить его не нужно: если свет падает изнутри, со стороны стекла, на границу «стекло — воздух» под большим углом, то он весь отразится обратно, не выходя наружу. Это явление так и называется — полное внутреннее отражение. Оно произойдет, когда толщина стержня будет настолько мала, что это будет уже не стержень, а стеклянное волокно. Толщина таких волокон — несколько тысячных миллиметра. Их можно собирать в жгуты разной толщины, как медные проволоки в кабеле. Тонкие стеклянные нити довольно гибки, поэтому такой волоконный световод можно изгибать, завязывать узлом и вообще

обращаться с ним, как с обычным электрическим проводом.

Передавать по нему можно не только отдельные лучи, но и целые картины. Для этого на один полированный торец световода при помощи объектива фокусируется изображение.

Это же изображение будет видно на другом его торце, как бы причудливо ни был изогнут световод. Конечно, это изображение будет уже состоять из множества светящихся точек – по числу волокон в световоде, но этого не будет заметно: ведь они такие маленькие.

При помощи световодов можно менять размеры изображения: если взять волокно, расширяющееся от начала к концу, изображение увеличится, если взять сужающееся – уменьшится.

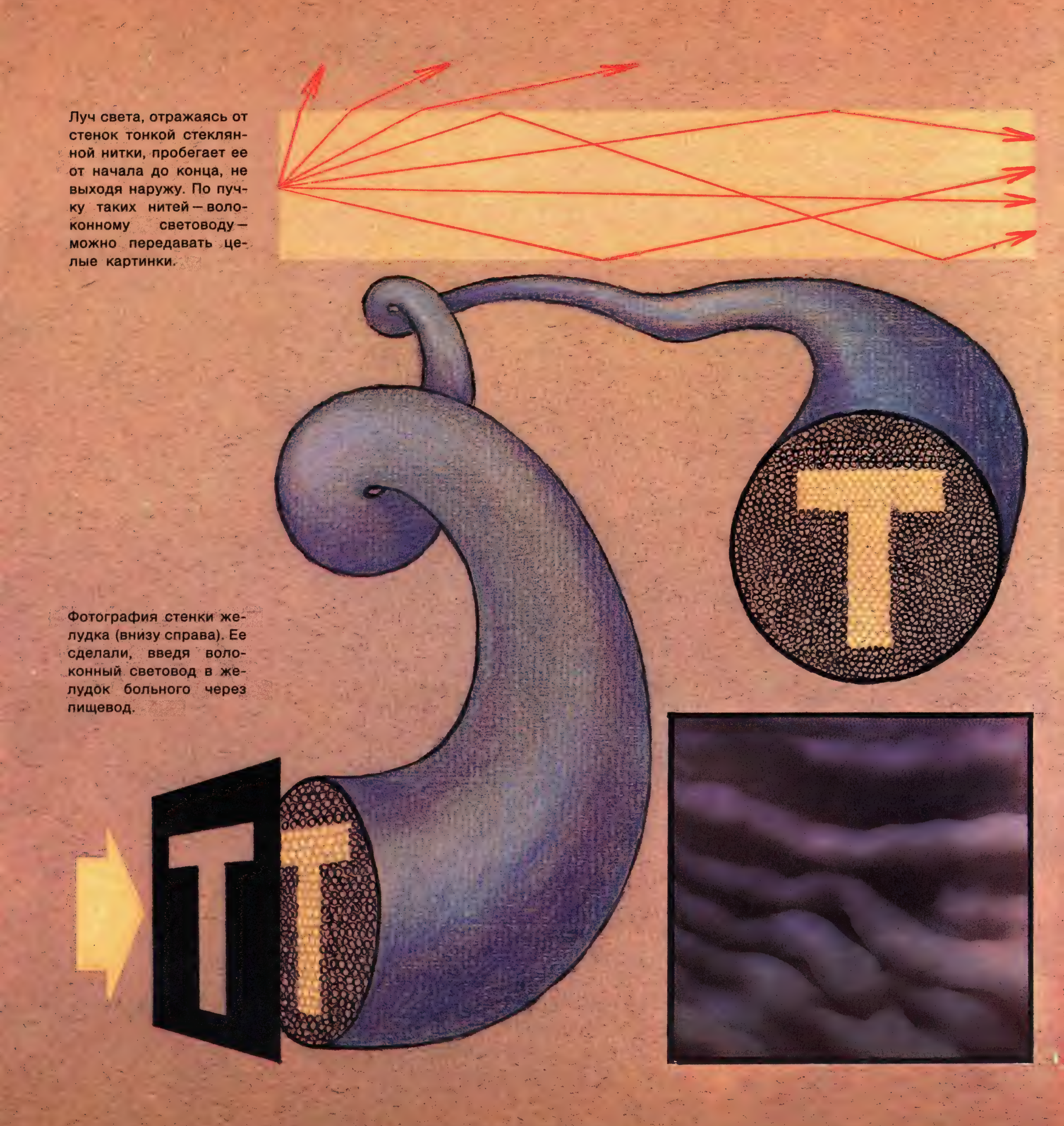
По световоду можно посылать секретные сообщения, зашифровав их так, что посторонний, даже перехватив сигнал, никогда не сможет прочитать его. Сделать это очень просто: нужно взять кусочек световода, волокна в котором перепутаны, и включить его в начало линии связи. По линии пойдет не четкое изображение, а какая-то каша из светлых и темных точек. Тот, кому этот сигнал предназначается, ставит перед приемником отрезок точно такого же световода, включая его в линию «наоборот», другой стороной. Перепутанный сигнал в нем сам «распутается», дав снова ясное изображение.

При помощи гибких волоконных световодов можно тщательно осматривать внутренние детали машин и механизмов, не разбирая их: световод вводится внутрь через небольшое отверстие, свет от сильной лампы попадает туда тоже по световоду. Таким образом можно осматривать не только машину. Можно «заглянуть» в желудок к человеку и посмотреть, не угрожает ли ему язва или другая желудочная хворь. Световод толщиной с карандаш вводится в желудок через пищевод. Процедура довольно неприятная, но лучше так, чем зря резать живот.

Такие приборы для исследования внутренних поверхностей называются «эндоскопы». Устроены они по-разному: в одних изображение нужно рассматривать просто в окуляр, а в других изображение, иногда цветное, появляется на экране телевизора. Как хорошо, что волоконная оптика избавила нас от необходимости глотать миниатюрную телекамеру!

Однако прямая передача изображений хотя и очень интересный, но далеко не самый важный способ использования оптического волокна. Гораздо важнее то, что гибкие и легкие стеклянные световоды могут заменить медные кабели линий связи. Специалисты утверждают, что будущее связи принадлежит именно лазерным

Еще в средние века срочные сообщения нередко передавали, подавая сигналы факелом.



Луч света, отражаясь от стенок тонкой стеклянной нитки, пробегает ее от начала до конца, не выходя наружу. По пучку таких нитей — волоконному световоду — можно передавать целые картинки.

Фотография стенки желудка (внизу справа). Ее сделали, введя волоконный световод в желудок больного через пищевод.





Первая в СССР линия оптической связи передавала телефонные разговоры между Москвой и Красногорском по открытому лучу. Один лазер был установлен на башне высотного здания МГУ на Ленинских горах.

По стеклянным нитям, как электрический ток по проводам, идет лазерный луч.

лучам, передаваемым по оптическому волокну.

Ничего странного в этом нет: свет применялся для связи еще в древнейшие времена. В Древней Греции существовал прибор — прообраз современного телеграфа,— при помощи которого можно было передавать слова и целые фразы. Команды — когда пустить прибор, когда его остановить,— подавались при помощи факелов. В средние века факелы, выставленные на крепостной стене, передавали приказы отрядам, стоящим лагерем в окрестных полях. Но свет в этих способах связи служил только сигналом, самого сообщения он не передавал. Во время второй мировой войны действовал «оптический телефон», для большей секретности работавший на невидимых тепловых лучах. Дальность его действия была невелика, разговаривать можно было только на расстоянии прямой видимости...

По-настоящему свет стал применяться в связи только тогда, когда была разработана

ЛАЗЕРНАЯ СВЯЗЬ

Произошло это совсем недавно, несколько лет назад. А вообще на световой диапазон электромагнитных волн связисты обратили внимание давно, в самом начале бурного развития радио.

Посмотрите на ваш радиоприемник. Вы увидите, что в диапазоне длинных волн «умещаются» передачи двух-трех радиостанций, на более коротких волнах (их называют средними) уже можно услышать их пять — десять. И наконец, в области коротких волн звучит буквально каждый миллиметр шкалы радиоприемника: вращая ручку настройки, вы слышите писк морзянки, сигналы радиомаяков, разноязычную речь и музыку. Станций так много, что приходится шкалу коротких волн растягивать, она делается в несколько раз длиннее, чем все остальные диапазоны приемника. Это не случайность, а закономерность: чем короче электромагнитные волны, тем больше их может уместиться, не мешая друг другу, на одном отрезке шкалы.

Но свет — такие же электромагнитные колебания, как и радиоволны, только гораздо короче. Поэтому оптический диапазон в пятьдесят тысяч раз шире радиодиапазона. Значит, если использовать свет для связи так, как мы это делаем с радио, можно добиться невиданной плотности передаваемых сообщений! Для этого нужно, чтобы передатчики друг другу не мешали. Этого можно добиться, если каждую передачу вести на строго определенной длине волн.



Волоконно - оптический световод — луч света, смотанный в клубок.

С радиоволнами все просто: передатчик может излучать электромагнитные волны любой длины. На них очень легко «нагрузить» сообщение. Волна, несущая какой-то сигнал — речь, музыку,— называется модулированной. Модуляция бывает двух видов: частотная (когда меняется длина волны излучения) и амплитудная (когда меняется его интенсивность). Так же модулировать можно было бы и свет, не будь он смесью разных электромагнитных волн, а будь одной волной достаточной интенсивности. Короче, нужен был лазер. И как только он появился, за него тут же ухватились связисты. Уже в 1962 году заработала лазерная линия связи между Калининским районом столицы и подмосковным городом Красногорском. Связь шла по открытому лучу: лазер стоял на одной из башен высотного здания Московского государственного университета на Ленинских горах. В то время это была самая высокая точка Москвы, Останкинская башня только проектировалась. Линия исправно работала в холод и в жару, днем и ночью. Хотелось бы добавить: в дождь и снег, но нельзя — в туман и непогоду световая линия работать переставала, и связь переключалась на обычную, электрическую. А плотных туманов в Москве бывает до восьмидесяти часов в год; на севере во много раз больше. Не сидеть же, ожидая погоды, без связи?

Конечно, нет, нужно исключить все вредные погодные воздействия, пустив свет по волоконному световоду.

Лазерный луч попадает в модулятор — устройство, которое «накладывает» на него передаваемый сигнал (речь, музыку, телевизионное изображение) — и уходит в волоконный кабель. Бесчисленное число раз отразившись от его стенок и пройдя в нем сотни и сотни метров, модулированный луч попадает в устройство, которое снова превращает его в привычный нам электрический сигнал.

По этому же световоду можно направить излучение второго лазера, с другой длиной волны, третьего, четвертого. Каждый из них может нести свой сигнал. По одному волокну, по стеклянной нити чуть тоньше волоса, можно одновременно передавать 32 000 телефонных разговоров или 60 цветных телевизионных программ! Сейчас уже созданы световоды, способные работать в тех же условиях, что и обычные провода. Они выдерживают большие колебания температуры, обледенение, порывы ветра. Их можно прокладывать в земле и натягивать на столбах. Огромная пропускная способность световодов позволит создать сеть кабельного телевидения, работающего без помех и искажений, как

сегодня работает радиотрансляция. Часто в одном жгуте комбинируют волоконные световоды и обычные электрические провода.

Есть и еще одно очень важное соображение, которое имеют в виду, создавая волоконно-оптическую связь. Два электрических провода, лежащие рядом, могут мешать друг другу. Переменный ток, текущий в одном проводе, вызывает такой же ток, только послабее, в другом. Возникает ложный сигнал — шум, треск, а то и музыка или речь, мешающие передаче по другому проводу. Такие сигналы-помехи называются наводками. Электрические искры и молнии дают наводки, принимаемые радиоприемником.

Особенно опасны наводки для работы электронно-вычислительных машин. В США был случай, когда огромную космическую ракету пришлось взорвать через несколько секунд после старта: из-за одной-единственной ошибки в вычислениях она сошла с траектории и грозила упасть на город. Расследование показало, что виновато маленькое реле: его неисправный контакт искрил, искра вызывала наводку, а та, в свою очередь,— сбой в работе машины. Крошечная искра стоила американцам нескольких миллионов долларов...

Для того чтобы избежать помех, провод одевают в «экран», или «броню» — плетеный чулок из медных нитей. Все высокочастотные кабели обязательно делаются в броне, именно так устроен кабель, идущий от антенны к телевизору. Но и это, как мы уже видели, не всегда помогает.

С волоконным световодом таких неприятностей не произойдет, слой непрозрачной краски на его поверхности — вот и вся изоляция. Поэтому считают, что миниатюрные полупроводниковые лазеры и оптическое волокно скоро вытеснят электронные приборы и кабели из вычислительной техники.

Лазеры уже можно гасить, зажигать и менять их яркость при помощи другого лазера, так, как включают, выключают и усиливают электрический ток электронные лампы и транзисторы. Свет заменяет электричество!

И вот что интересно: природа умудрилась создать даже такое сложное устройство, как волоконный световод, да еще настроенный на определенную длину волны. «Автор» конструкции и хозяин этого устройства — белый медведь. Американским ученым удалось установить, что каждая шерстинка его шкуры работает как оптическое волокно. Солнечный свет нагревает шерсть, а тепловые лучи идут по шерстинкам к коже и согревают зверя.

Волоконно-оптические кабели оказались настолько удобными добавлениями к лазерному лучу, что их сразу же решили приспо-

собить к передаче мощных пучков света, вроде тех, что используются в промышленности. Это было нелегко, но, в конце концов, не так давно был создан световод, по которому можно «перекачивать» энергию от мощного импульсного или непрерывного лазера, например, такого, какой стоит в цехе завода имени Лихачева. Ведь

ЛАЗЕР РЕЖЕТ, СВАРИВАЕТ И КУЕТ

А также закаливает, сверлит, кроит, проверяет качество обработки деталей и делает множество других, не менее важных дел, для которых, казалось бы, совершенно не годится луч света. Но это не так.

Существует закон природы: нагреватель, каким бы мощным он ни был, не может нагреть вещество выше той температуры, корую он сам имеет. Закон этот кажется совершенно очевидным, но из него вытекает странное, на первый взгляд, следствие: и огромный мартен, и маленькая газовая горелка могут расплавить и испарить все что угодно, хватило бы только мощности лазера, было бы достаточным время его воздействия на материал.

Поэтому-то лазером так заинтересовались инженеры и технологи, поэтому-то лазер так быстро начал проникать в такие отрасли производства, где, казалось бы, лазеру делать нечего. Особенно разительные перемены принес лазер в способы обработки твердых материалов: луч света режет их, как пластилин.

Для обработки деталей из твердых сплавов нужен инструмент еще более твердый. Он часто изготовляется из алмаза, тверже которого нет ничего. А чем обрабатывается сам алмаз? Только алмазом.

Посмотрите на электрическую лампочку (разумеется, не зажженную). Ее нить сделана из твердого тугоплавкого вольфрама. Для того чтобы изготовить тонкую вольфрамовую проволоку, ее много раз протягивают сквозь сужающиеся отверстия в алмазных пластинках — вóлоках.

Как ни тверд алмаз, но и он не выдерживает нагрузок: волоки приходится время от времени менять. И вот, упершись в алмазную пластинку, вращается тонкая трубочка, сыплется под нее алмазный порошок: делают новую волоку. Алмаз потихонечку поддается: два-три дня непрерывной работы, и новая деталь готова.

Но вот алмазную заготовку укрепили на станке, больше напоминающем микроскоп, чем станок. Нет ни мотора, ни сверла. На алмаз не сыплется порошок, не льется охлаждающая жидкость.

На его поверхность при помощи линзы сфокусирован импульсный лазер. Вспышка! Другая! Третья! Алмаз испаряется, на месте светового удара образуется ямка. С каждой новой вспышкой она углубляется, превращаясь в тонкий круглый канал. Одна-две секунды — сквозное отверстие готово, новую волоку можно ставить на станок.

Точно так же делают и часовые детали, называемые камнями. Часовые камни — миниатюрные подшипники, сделанные из рубина, цилиндрики диаметром полтора-два миллиметра и толщиной полмиллиметра с дыркой посередине. Оси часовых колес, упираясь в них, могут работать десятилетиями не изнашиваясь и только изредка требуя смазки. Чем больше камней в часах, тем они надежней и долговечней. Сегодня даже будильники делают на таких рубиновых подшипниках, не говоря уже о наручных часах. Число камней указано на их циферблатах. Традиция эта осталась с тех времен, когда камни были дороги и делать их было трудно. Поэтому предметом особой гордости были часы на двенадцати камнях.

Теперь на часовых заводах работают автоматические лазерные станки, которые делают эти камни. Одна секунда — и готов подшипник. Отверстие в нем идеально круглое, брака практически не бывает.

Самое интересное, что на пробивание отверстия тратятся только тысячные доли секунды, а остальное время уходит на то, чтобы поставить заготовку и убрать готовую деталь.

Если лазер сверлит рубин и алмаз, то с гораздо более мягким камнем, с обычной горной породой, он справится без труда. Так родилась идея лазерного бурения скважин. Сегодня буровые инструменты — доло́та — для бурения крепких пород делаются из твердых сплавов или алмаза. Но и такие долота тупятся, и их приходится заменять, извлекая из скважины глубиной в несколько километров. Эта операция достаточно долгая и трудная. А в проекте сверхглубокие скважины до 160 километров глубиной! Поневоле задумаешься о том, как продлить срок службы бурового инструмента.

Для лазера прочность породы значения не имеет, сам он при бурении не снашивается. Конечно, чтобы разрушить породу по всей площади скважины диаметром 10—12 сантиметров, нужен очень мощный лазер. Чтобы снизить его мощность, предложили разрушать лучом не всю породу, а только подрезать им узкую канавку по окружности скважины. Тогда оставшийся в центре столбик породы, пронизанный трещинами от тепловых напряжений, можно будет разрушить механическим





Тонкую вольфрамовую проволоку для электрических лампочек протягивают через отверстия в алмазах, пробитые лазерным лучом.

Рубиновые подшипники — камни для часов — обрабатывают на лазерных станках-автоматах.

Лазерный станок с программным управлением, созданный московскими инженерами. На станке быстро и точно обрабатывают твердую керамику, легированную сталь и другие материалы, которые можно одолеть только лучом лазера.

Лазерный луч сжигает любой, даже самый прочный и жаростойкий материал.



способом и удалить из скважины сжатым воздухом или водой.

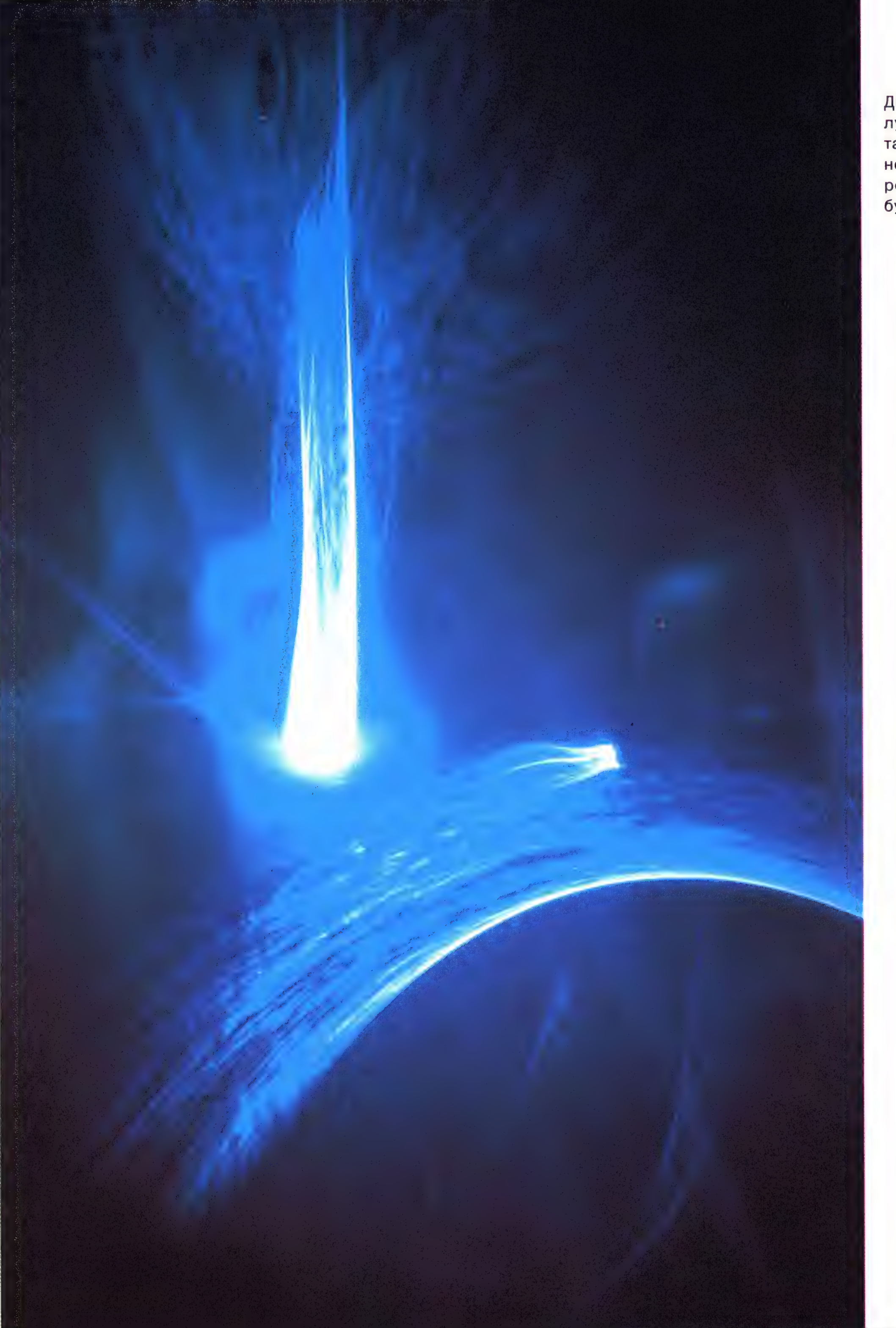
Американские конструкторы, работавшие по программе исследования Луны, первоначально предполагали оснастить астронавтов лазерным буровым устройством для отбора проб лунной породы. Но от этой заманчивой идеи пришлось отказаться: физические свойства уникальных образцов при таком способе бурения были бы непоправимо искажены сильным нагревом. А это, конечно же, недопустимо, и астронавтам пришлось бурить по старинке — трубами с наконечниками из твердых сплавов.

Но есть процессы, где тепловые воздействия не только не вредны, но, наоборот, необходимы. Это — термическая обработка металлов и деталей машин.

Лазер режет, сваривает и кует

В главе «Газовые лазеры» упоминалась установка для сварки автомобильных деталей. Ее мощность — пять киловатт, рабочий инструмент — лазер на углекислом газе, дающий инфракрасный тепловой луч. На этой установке можно сваривать отдельные детали толщиной до двух сантиметров. Шов при этом получается раза в четыре тоньше, чем при обычной электросварке, сварка идет в пятьдесят раз быстрее, а электроэнергии тратится в три раза меньше! Лазер позволяет легко автоматизировать сварку, сваривать металлы, которые обычным способом соединить нельзя, и даже ремонтировать детали там, куда обычным инструментом проникнуть невозможно,— например, сваривать детали радиоламп прямо в вакуумной колбе, направив туда луч сквозь стекло!

Лучом света можно резать сталь толщиной до сорока миллиметров. Причем не просто резать, но и вырезать из стального листа детали самой причудливой формы. Для этого лазер делается подвижным. Его движением управляет электронно-вычислительная машина. Программа, которая в нее вложена, перемещает лазер и с большой точностью ведет его луч по контуру будущей детали, делая тонкий разрез. При этом экономится до пятнадцати процентов материала — ведь будущие детали могут лежать очень близко друг к другу. Такая установка может резать не только сталь, но и вообще любой листовой материал: бумагу, фанеру, плиты из древесных стружек или асбеста, нужно только изменить мощность излучения и скорость резания. Даже стекло можно кроить, как картон. Оно хоть и прозрачно, но все равно чуть-чуть, совсем немного, поглощает свет. Но это «чуть-чуть» от пяти тысяч ватт даст достаточно энергии, чтобы нагреть стекло. В месте нагрева оно расширится, лопнет и по листу стекла вслед за лучом потянется трещина. Такой способ



Движением режущего луча управляет ЭВМ, так что можно мгновенно определять точность резания и вносить требуемые поправки.

Такие картины, нарисованные лазерными лучами, уже сегодня используют для оформления эстрадных концертов и театральных постановок, а когда-нибудь, возможно, специалист по лазерной оптике станет в театре столь же привычной фигурой, как гример или декоратор.







Какие только эффекты не удается создать с помощью лазерного луча!

резки называется термораскалыванием.

Лазерный луч может не только разрушать, но и упрочнять детали, закаливая их с поверхности. Стальная деталь при этом одевается закаленной «скорлупой», твердой и устойчивой к трению, но довольно хрупкой. Если такой будет вся деталь, то от удара она может расколоться, как стеклянная. Но в том-то и дело, что ее сердцевина остается упругой и вязкой: лазерная вспышка не успевает ее прогреть. Такая деталь устойчива и к ударам, и к трению, как знаменитый булат — гордость русских оружейников.

Этим способом обрабатывают стальные детали, работающие в тяжелых условиях,— зубья шестерен, детали коленчатых валов двигателей, шейки осей колесных пар тепловозов и электровозов.

Но как узнать, достаточно ли хорошо получился сварной шов, нет ли дефектов в массивной чугунной отливке?

Есть много способов заглянуть внутрь материала, когда обычное зрение бессильно. Один из них — ультразвуковая дефектоскопия.

Звук хорошо распространяется в воздухе, но еще лучше — в плотных материалах. Чем плотнее материал, тем больше скорость звука в нем, тем слабее звук в нем затухает. Но если на пути звуковой волны внутри материала встретится дефект — трещина, пузырек газа в отливке (металлурги называют их раковинами),— то звуковые волны частично отразятся от стенок дефекта и вернутся в приемник. На экране прибора — дефектоскопа — появится всплеск, показывающий, на какой глубине находится дефект и какого он размера. По этим сигналам специалисты судят, опасны ли обнаруженные трещины для будущей детали или нет, списать ли ее в брак или она сможет работать. Чем короче длина звуковой волны, тем меньших размеров дефект можно с ее помощью увидеть. Поэтому для этой цели используют звук очень высокой частоты, не слышимый человеком,— ультразвук.

Используют такой метод и геофизики. Только прозвучивают они не стальные детали, а образцы горной породы и геологические модели, сделанные из разных материалов. Они определяют скорость распространения звука в породе, исследуют, есть ли в ней поры и трещины. Знать это очень важно для разведки полезных ископаемых, особенно нефти и газа. Ведь нефть может накапливаться глубоко под землей в порах и трещинах горных пород, а глубину ее залегания можно определить, зная скорость звука в этой породе. Но вот беда: все известные до сих пор излучатели давали ультразвуковые волны слишком большой длины.

Лазер режет, сваривает и кует



Все излучатели устроены примерно одинаково: переменный ток высокой частоты раскачивает упругую пластинку или стерженек, а тот бьет по образцу. Чтобы увеличить частоту ультразвука, нужно уменьшить время удара. Но это понизит мощность звука, его нельзя будет «услышать». Нужно было резко поднять частоту звука, сохранив прежней его интенсивность: размеры сложных геологических моделей приближались уже к нескольким кубометрам.

Выход нашли московские геофизики. В качестве излучателя ультразвука они заставили работать импульсный лазер.

Сфокусированный гигантский импульс неодимового лазера бьет по поверхности образца. В месте удара вещество мгновенно нагревается до температуры несколько тысяч градусов и испаряется. Происходит микроскопический взрыв, порождающий в образце взрывную волну – ультразвук. Время удара – две стомиллионные доли секунды (20 наносекунд) – в десятки тысяч раз меньше, чем у самых лучших излучателей. Частота ультразвука получается соответственно выше в десятки тысяч раз. Мощности тоже хватает, сотни тысяч ватт – гораздо больше, чем способен дать любой традиционный излучатель.

При помощи лазерной ультразвуковой установки легко удалось измерить скорость звука в образцах размером всего несколько миллиметров, раньше это была сложная техническая проблема. А мощная звуковая волна, порожденная лазером, проходит сквозь такие материалы, которые ничем другим исследовать нельзя.

На наших глазах рождается новое направление в физике, результат слияния наук о звуке и свете – акустооптика. Специалисты сулят ему большое будущее.

Одним словом, лазер оказался не только хорошим инструментом, но и прекрасным контрольно-измерительным прибором, причем настолько универсальным, что ему доверили исследовать не только недра Земли, но и дали космоса. Началось это с того, что

ЛАЗЕР ОСВЕТИЛ ЛУНУ

Луна, древний спутник нашей планеты, с давних пор привлекала внимание ученых. Аристарх Самосский, живший в III веке до нашей эры, измерил расстояние до Луны по ее фазам, и с его помощью – расстояние до Солнца и отношение диаметров Солнца и Земли. Греческий ученый Гиппарх, живший в Никее на полтора века позже, занимался изучением движения Луны и определил

расстояние до нее, наблюдая солнечные и лунные затмения. Так, солнечное затмение 123 года до новой эры было полным в Геллеспонте, а в Александрии Луной были закрыты четыре пятых солнечного диска. Расстояние между этими городами было хорошо известно, поэтому ученый смог довольно точно определить расстояние до Луны, и, наблюдая в дальнейшем положение Луны на небосводе из других мест, он мог определять расстояния между ними.

Теперь, скажете вы, мы знаем, что Луна движется вокруг Земли по эллипсу, и всегда можем вычислить расстояние до нее. Все это так, но, двигаясь по слегка вытянутой орбите на расстоянии от 406 700 до 356 400 километров от Земли, Луна притягивается не только Землей, но и Солнцем и даже соседними планетами. В результате ее орбита становится очень сложной кривой. Точно рассчитать эту кривую невозможно, положение Луны на орбите можно определить только с ошибкой в два-три километра. Казалось бы, три километра по сравнению с 400 000 величина совершенно незаметная, да и зачем нам здесь, на Земле, знать такие подробности о движении далекой Луны?

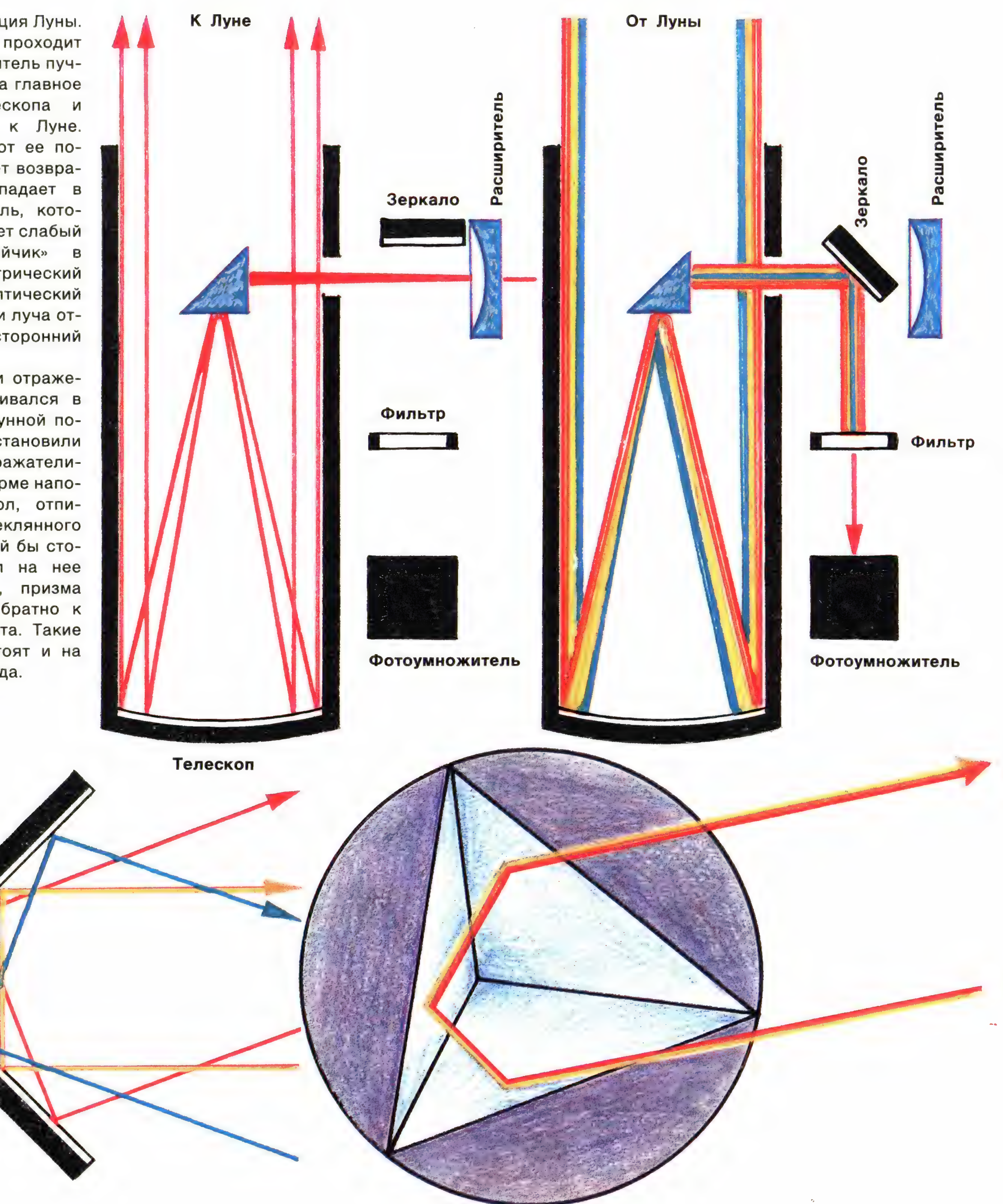
Зная расстояние до Луны, мы можем упростить геодезические и астрономические измерения и повысить их точность раз в сто. Это понимали уже древние греки. И уж просто жизненно необходимо знать точные расстояния в космосе, отправляя туда ракеты. Для этого нужно регулярно измерять это расстояние с точностью до метров, а еще лучше сантиметров, и вообще — чем точнее, тем лучше.

Лазер осветил Луну

Шел 1946 год. Только что закончилась война, наша страна еще восстанавливала разрушенное хозяйство, а ученые уже думали о будущем. Советский физик Н. Д. Папалекси рассчитал условия, при которых можно измерить расстояние до Луны при помощи... световой вспышки. Идея опыта была очень проста: с Земли посылают импульс света. Свет этой вспышки отражается от поверхности Луны, возвращается на Землю и принимается чувствительными приборами. Время, за которое свет пропутешествовал от Земли до Луны и обратно, можно измерить с большой точностью, а скорость света хорошо известна. Умножив скорость на время и разделив пополам результат, получим расстояние. Ошибка в его определении при таком методе может быть не больше метра. Существовавшая в то время техника вполне могла обеспечить нужную точность. Не хватало лишь одного: источника света, способного осветить поверхность Луны.

Световая локация Луны. Луч лазера проходит через расширитель пучка, попадает на главное зеркало телескопа и устремляется к Луне. Отразившись от ее поверхности, свет возвращается и попадает в фотоумножитель, который превращает слабый световой «зайчик» в мощный электрический сигнал. Оптический фильтр на пути луча отсеивает посторонний свет.

Чтобы луч при отражении не рассеивался в стороны, на лунной поверхности установили уголковые отражатели-призмы, по форме напоминающие угол, отпиленный у стеклянного кубика. С какой бы стороны не упал на нее световой луч, призма отразит его обратно к источнику света. Такие отражатели стоят и на крыше лунохода.





Прошли почти два десятилетия, прежде чем эта смелая идея смогла осуществиться,– появился лазер. Наступление космической эры настоятельно требовало начала работ. И вот в 1963 году большой зеркальный телескоп Крымской астрофизической обсерватории с диаметром зеркала 2,6 метра послал в сторону Луны короткий импульс лазерного света мощностью 35 тысяч ватт. Свет отразился от поверхности Луны в районе кратера Альбатегний, почти в самом центре лунного диска, и был принят на Земле тем же телескопом.

На рисунке вы видите схему этой установки. Вот импульсный лазер в режиме свободной генерации через переключатель «прием — передача» посылает световой импульс в телескоп. Отразившись от его зеркал, узкий лазерный луч превращается в широкий пучок света и начинает свой путь в пространстве. Одновременно со вспышкой лазера включается измеритель времени — точные электронные часы, начинающие отсчет времени полета света до Луны и обратно. За время путешествия луча — около двух секунд — переключатель успевает подключить к телескопу фотоприемник — устройство, принимающее и усиливающее световой сигнал. На пути отраженного света ставится фильтр, пропускающий только свет лазера и отсеивающий посторонний. Как только отраженный сигнал принят, измеритель времени выключается. Все. Время измерено, можно вычислять расстояние.

Эта, в общем, простая аппаратура была способна обеспечить точность до 15 метров, однако на практике ошибка составила около 200 метров. Тоже неплохо — в десять раз точнее, чем путем расчетов, и гораздо быстрее.

Но почему все же ошибка оказалась гораздо большей, чем предполагалось?

Причина в том, что пучок света по дороге немного расширяется. На выходе телескопа он имеет диаметр 2,6 метра, а до поверхности Луны доходит, имея диаметр несколько километров. Площадка, освещаемая им, неровная, на ней могут быть впадины, трещины, груды камней и скалы, да и сама она может оказаться на склоне горы. Разница высот отдельных ее участков может достигать нескольких сотен метров. Это ограничивает точность измерений.

Стало ясно, что повысить точность можно только тогда, когда отражающая свет поверхность уменьшится до размеров точки, и положение этой точки будет хорошо известно. Короче, на Луне нужно устанавливать отражатели небольших размеров.

Начались работы по конструированию этих устройств, они на-

Лазер осветил Луну

зываются уголковые отражатели. Называются они так потому, что состоят из множества призм, имеющих форму прямого угла, как бы отрезанного от стеклянного кубика. Каждая такая призма будет отбрасывать луч света, откуда бы он ни пришел, точно в обратном направлении, к источнику. Так же устроены отражательные пластинки — катафоты — на велосипедах и автомобилях. Но космические отражатели должны быть сделаны из очень хорошего оптического стекла, не бояться тряски и перегрузок при полете ракеты, а установленные на Луне — выдерживать нагрев на солнце до сотен градусов днем и охлаждение до сотен градусов ночью... При их создании пришлось решать массу инженерных и технологических проблем. Но все трудности, в конце концов, остались позади, и за четыре года, с 1969 по 1973, на Луну было доставлено пять отражателей: два французских, установленных на «Луноходах» — первом и втором, и три американских, доставленных туда на кораблях «Аполлон».

Для работ с «Луноходом-1» была построена аппаратура, дающая точность до трех метров. С «Луноходом-2» уже работал автоматический комплекс быстродействующей аппаратуры с точностью измерения до 90 сантиметров, проводивший регулярные измерения. В нем использовался сверхкороткий гигантский импульс.

И наконец, с 1978 года начала работать аппаратура, ошибка которой составляет 25 сантиметров при единичном измерении и может быть уменьшена до 8—10 сантиметров при серии из нескольких замеров. Она работает и до сих пор.

За семь лет работы по программе лазерной локации Луны было проведено около тысячи двухсот измерений по всем пяти уголковым отражателям. И оказалось, что существующая теория движения Луны не совсем верна и нуждается в уточнении. На Земле тоже нашлось применение этим результатам, они помогут точнее определить форму нашего земного шара, который ведь на самом деле вовсе и не шар. Земля сплюснута с полюсов, и к тому же слегка вдавлена на Северном полюсе и выпукла на Южном, напоминая по форме репу. Ученые долго спорили, как назвать фигуру такой формы, и, наконец, не мудрствуя лукаво, назвали ее «геоид», что означает: «тело, имеющее форму Земли». Но для того, чтобы точно знать форму Земли, нужно научиться точно определять координаты точек наблюдения, вспомним работы Гиппарха. Так вот, при помощи лазерных измерений удалось замерить расстояние по прямой между Крымской и Макдональдской обсерваториями в США с точностью

Даже такую запутанную, на наш взгляд, картину сложения разных волн ЭВМ способна расшифровать, а значит, сильно увеличить объем извлекаемой информации.

плюс-минус 2 метра! Похоже, что лазерная система измерений скоро станет наиболее точным и вообще единственным способом исследования системы Земля – Луна. Уже обнаружен удивительный факт: Луна оказалась – представьте себе! – на полкилометра дальше от Земли, чем предсказывали расчеты!

Но Луна находится далеко, для работы с ней необходима сложная и дорогая техника, мощные телескопы. Да и сама она не всегда занимает удобное для работы положение на небосводе. Поэтому специально для нужд ученых-геофизиков в мае 1976 года в США был запущен спутник «Лагеос» – шар диаметром 60 сантиметров, в который вмонтировано 426 уголковых отражателей. Спутник выведен на круговую орбиту на высоту 6 тысяч километров и совершает один оборот вокруг Земли за 3 часа 45 минут. И если с ним ничего не случится (а что может с ним произойти в пустом космическом пространстве?), то находиться на орбите он будет... 9 миллионов лет. Это во много раз больше, чем время жизни человека на Земле (он появился около 40 тысяч лет назад), поэтому на борту «Лагеоса» отправлено в будущее письмо к нашим отдаленным потомкам.

С «Лагеосом» работают небольшие передвижные станции, оснащенные лазерными дальномерами с погрешностью измерений не более 5 сантиметров.

Полученная точность не предел. Ее повышения с нетерпением ждут астрономы и физики, геофизики и геологи. Потому что высокая точность измерений позволит ответить на очень важный вопрос:

КУДА ПЛЫВУТ МАТЕРИКИ?

Если вы внимательно рассматривали карту мира или глобус, вы не могли не заметить, что очертания границ многих материков совпадают. Например, линия восточной границы Американского континента в точности повторяет форму западного побережья Африки, остров Мадагаскар хорошо вписывается в очертания недалекого берега за Мозамбикским проливом.

Но этого мало. Слои глубинных пород, которые обрываются в Африке, как ни в чем не бывало продолжаются в Бразилии.

Все это наводит на мысль, что когда-то, в незапамятные времена, эти материки были одним целым образованием. Как же наша Земля приняла свой теперешний вид? Существует два возможных ответа на этот вопрос.

Возможно, что диаметр Земли в прошлом был меньше современного раза в два, а потом быстро –



по геологическим понятиям, конечно,— увеличился до нынешнего. На поверхности Земли остались «обрывки» ее покрова, бывшего когда-то сплошным. Если расширение Земли продолжается, то расстояние между материками увеличивается и сейчас.

А может быть, современных материков, к очертаниям которых мы так привыкли, когда-то и не было совсем, а был один огромный материк — Пангея. Потом в глубинах Земли, в ее раскаленных недрах, возникли потоки расплавленного вещества, расколовшие древнюю Пангею и унесшие ее осколки — теперешние материки — в разные стороны.

Узнать, что происходило на самом деле и продолжают ли двигаться материки, очень важно и интересно.

Если материки действительно состоят из огромных осколков-платформ, которые непрерывно движутся, то расстояния между ними должны непрерывно меняться. Какие-то плиты могут разойтись, и тогда в образовавшуюся трещину хлынет расплавленная магма — образуется зона вулканической деятельности; другие, наоборот, могут неодолимо надвигаться друг на друга, сминая края в гигантские складки,— возникнут горы.

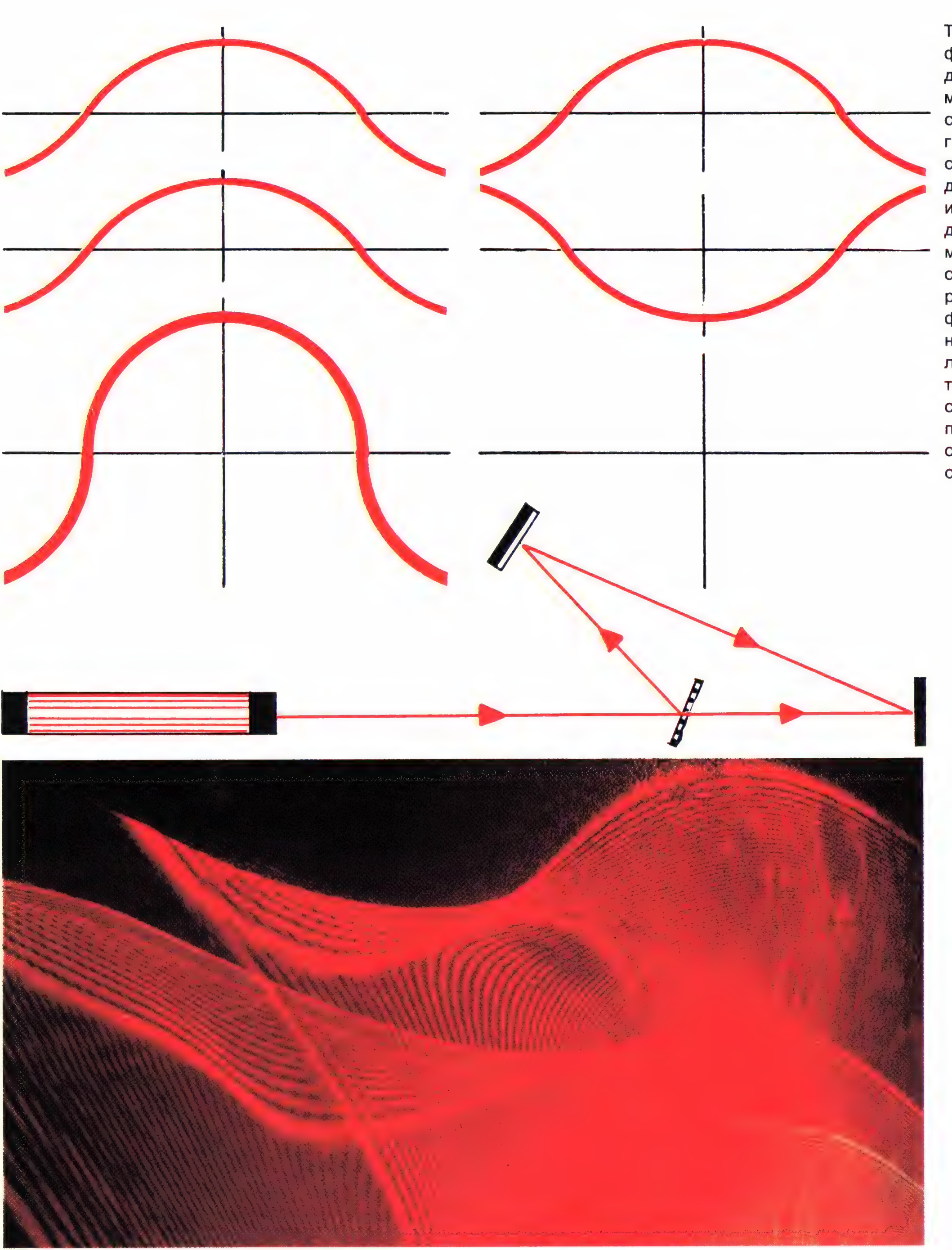
И то и другое будет сопровождаться землетрясениями на суше и цунáми на море: рушатся дома, гибнут люди, огромные волны сметают все на своем пути... Вот почему так важно знать, чтó же происходит с материками на самом деле.

Ученые взяли под наблюдение Атлантический океан. Есть подозрение, что Америка действительно удаляется от Европы и Африки со скоростью несколько сантиметров в год. Значит, если мы сможем повысить точность измерения земных расстояний раз в пятьдесят, то всего за несколько лет наблюдений удастся выяснить, куда «плывут» материки, с какой скоростью и почему это происходит. Тогда мы сможем предвидеть, какие неприятности можно ожидать в результате этого движения, в каком месте и когда.

Но, оказывается, вовсе не обязательно ждать, когда уровень техники позволит нам измерить эти небольшие перемещения. Их можно измерить уже сейчас, правда, другим способом. Поможет нам в этом

ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

Как вы помните, свет лазера — когерентная электромагнитная волна. Луч лазера может пройти десятки километров, не теряя своих характеристик; когерентность сохраняется в течение всего долгого времени его работы.



Так происходит интерференция. Когда гребни двух волн (их максимумы) совпадают, волны складываются. Если гребень одной волны совпадет со впадиной другой волны, обе они исчезнут, уничтожив друг друга. В результате могут получиться очень сложные цветные узоры, называемые интерференционной картиной. Используют это явление в приборах-интерферометрах: луч света в них расщепляется, отражается от системы зеркал и снова сходится воедино.

Точность измерений с помощью лазера очень высока, и сегодня неусыпное «око» лазерной установки отмечает даже малейшие подвижки грунта под знаменитой Пизанской башней.

Работая с двумя лазерными лучами, мы можем наблюдать интересную картину: направив в точку, освещенную одним лучом, второй, получим не в два раза бóльшую освещенность, а полную темноту! Как это происходит, видно на рисунке. Если два максимума волны совпадают (в этом случае говорят, что волны находятся «в фазе»), то при сложении получится увеличение яркости в два раза. Если же между волнами есть сдвиг на полволны (вóлны в «противофазе»), в сумме будет ноль, то есть темнота. Такое сложение волн называется интерференцией, а прибор, складывающий когерентные волны,— интерферометром.

Устроен прибор довольно просто: луч лазера падает на полупрозрачное зеркало и расщепляется на два луча. Один из них еще раз отражается в зеркале и попадает в приемник света. Другой, отражаясь по нескольку раз в зеркалах, проходит более длинный путь и тоже приходит к приемнику. Так они складываются и дают картинку, состоящую из полос света и тени.

Увеличим расстояние между зеркалами. Второй луч теперь проходит еще более длинный путь и приходит к приемнику, имея минимум и максимум уже на других местах,— фаза сдвинулась. Полосы, получившиеся при сложении лучей, сместятся в сторону. Измерив это смещение, мы можем вычислить, на сколько раздвинулись зеркала.

Значит, если два материка разделены не очень широким проливом, то можно половину интерферометра поставить на одном берегу, а половину — на другом и, глядя, как ползет полоса на экране прибора, измерить скорость движения материков!

Через Атлантический океан, конечно, луч не пошлешь (мешает кривизна земной поверхности), тут без лунных (или спутниковых) отражателей не обойтись, но есть подозрение, что линия раздела двух континентов пересекает Исландию (Исландия — страна вулканов! Это не случайно). Поэтому ученые-геофизики собираются установить приборы в наиболее «подозрительных» местах острова и посмотреть, не обнаружат ли они движения материков.

Есть и еще два места, пригодных для таких измерений. Это берега Гибралтара и Баб-эль-Мандебского пролива. Оба пролива отделяют Африку от Евразии: один — на западе, другой — на востоке. Есть предположение, что и Африка ведет себя неспокойно и стремится съехать южнее. Расстояние между берегами этих проливов не больше тридцати километров. Для мощного лазера это немного.

Но и внутри континента лазерному интерферометру найдется работа. Земная твердь все время

Лазерный интерферометр

находится в движении. Она испытывает приливы и отливы, притягиваясь Солнцем и Луной, ее сотрясают толчки и колебания землетрясений различной силы. Изучение этих колебаний может многое сказать о строении Земли и о процессах в ее недрах.

И вот, для того чтобы записать эти колебания, был сконструирован специальный интерферометр, в котором свет между зеркалами проходил внутри трубы длиной 1020 метров. Воздух из трубы был откачан,— чтобы ничего не мешало лучу на его пути. Зеркала в торцах этой трубы были укреплены на опорах — двух гранитных глыбах, глубоко врытых в землю.

Когда к прибору приходит толчок от далекого землетрясения, опоры слегка сдвигаются, расстояние между зеркалами чуть-чуть меняется. Но этого «чуть-чуть» достаточно, чтобы начала изменяться картина на экране, а пишущее устройство стало рисовать на ленте волнистую линию — «автограф» землетрясения. Но такой прибор будет замечать и шаги людей, и даже шелест травы под ветром, и плеск волн далекого озера. Будет он отзываться и на изменение температуры: в холод труба сожмется, в жару удлинится, путь лучей будет меняться, картина интерференции поползет. Чтобы этого не происходило, весь прибор поместили в заброшенный железнодорожный туннель



на глубину 500 метров от поверхности земли.

Принятые меры предосторожности принесли свои плоды: на полукилометровой глубине, в тишине и спокойствии, прибор может измерять смещения грунта в миллионные доли сантиметра, расстояние, всего в пятнадцать раз превышающее размер отдельного атома!

Измеряя такие сверхмалые перемещения, мы сможем предсказать, когда и где произойдет очередное землетрясение и какой силы оно будет. Перед началом землетрясения начинают ползти глубинные слои земли. При этом возникают сотрясения грунта. Ведя непрерывный контроль за сейсмической активностью при помощи лазерного сейсмографа, мы можем обнаружить это движение загодя, когда колебания, приходящие из недр Земли, еще слабы, и вовремя принять меры.

При помощи того же прибора можно наблюдать за поведением больших построек — плотин, высотных зданий, башен. Не выдержав огромной тяжести большого сооружения, грунт под его фундаментом может начать ползти, и тогда новенькая постройка разделит участь Пизанской башни, не приобретя, конечно, ее всемирной славы. Кстати, за самой этой башней тоже ведется наблюдение и тоже, как легко догадаться, при помощи лазерных приборов.

И не только наблюдать за постройкой, но и измерять скорость ее наклона или сползания.

Световая волна, приходя от движущегося предмета, слегка изменяет свою длину. Двигаясь навстречу волне, предмет как бы сжимает, укорачивает ее; уходя от волны — растягивает, удлиняя. Это явление называется эффектом Доплера. Оно характерно вообще для любых волн — и для звуковых тоже. Стоя возле железнодорожного переезда и пережидая поезд, можно услышать, как тон тепловозного гудка скачком меняется с высокого (малая длина звуковой волны) на низкий (большая длина), как только тепловоз минует переезд.

Если постройка поползет, интерферометр измерит доплеровское изменение длины волны; скорость, которую он способен обнаружить — одна десятимиллионная сантиметра в секунду.

Все это — сегодняшний день одной из наук о Земле — геофизики, но ученые уже думают о завтрашнем дне и планируют еще более интересные эксперименты.

На Луне есть огромное кольцо гор диаметром 100 километров — кратер Коперника. Его края настолько высоки, что выступают над горизонтом, а дно достаточно ровное, чтобы на него могли садиться космические корабли. Когда-нибудь они доставят на Луну части интерферометра невидан-

ных размеров: его зеркала будут установлены на противоположных сторонах кратера. Получится прибор огромной чувствительности, раз в сто — сто пятьдесят чувствительнее своего земного предшественника, живущего в старом туннеле. Предполагают, что с его помощью можно будет зарегистрировать волны тяготения, приходящие из глубин Вселенной. Эти волны могут испускаться огромными, очень тяжелыми звездами и целыми галактиками при их сжатии, вращении или взрыве. Эти волны заставляют колебаться все небесные тела — и Луну, и Землю, как звук, пришедший издалека, заставляет звенеть хрустальный бокал в буфете. Колебания эти очень слабы и на неспокойной Земле их заглушает даже шум травы и плеск волн. А Луна — очень спокойная планета. На ней не растет трава и не плещет вода. Даже сотрясения от ударов метеоритов гаснут в толстом слое лунной пыли — реголита,— которым покрыта его поверхность. Атмосферы там нет, поэтому не нужно откачивать воздух из трубы, лунотрясения происходят крайне редко — несколько раз в столетие. Вот почему Луна — отличная «антенна» для приема волн тяготения, пока предсказанных только теоретически. Если они действительно существуют, если лунный сейсмоприемник сумеет их обнаружить, то мы узнаем подробности о таких невообразимых глубинах космоса, откуда до нас не доходит даже свет.

Но честно говоря, в нашей повседневной жизни нам гораздо важнее знать подробности о нашей Земле, чем о далекой Вселенной. Даже не обо всей Земле, а о ее поверхности. О тех местах, где будет стройка, пройдет новая дорога, где работают первые люди, пришедшие на стройплощадку,— геодезисты и топографы. Посмотрим, как применяются

ЛАЗЕРЫ В ГЕОДЕЗИИ

Многим, наверное, приходилось наблюдать такую картину: ходит человек с широкой двухметровой линейкой в руках, время от времени ставя ее на землю. На нее в зрительную трубу — теодолит — смотрит другой и что-то записывает в журнал. Это геодезисты — непременные участники любой крупной стройки. Теодолит установлен строго горизонтально на месте, высота которого точно известна. По делениям на линейке (она называется рейкой) судят, насколько изменилась высота места. Так строят профиль будущей трассы или стройплощадки. Потом приходят строительные машины, лишнюю землю срезают, недостающую подсыпают. А геодезисты снова измеряют про-

Заходя на посадку, самолет движется по пологой траектории — глиссаде. Лазерное устройство, помогающее пилоту, особенно в непогоду, тоже названо «Глиссада». Его лучи позволяют точно сориентироваться в воздушном пространстве над аэродромом (справа вверху показано изображение на экране «Глиссады» при разных вариантах захода на посадку).

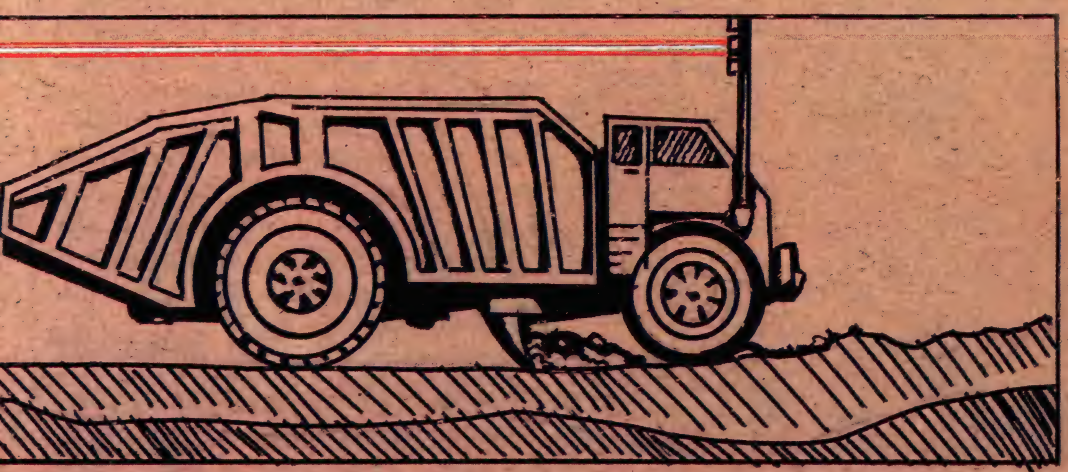


Левее По курсу Правее

Выше

По курсу

Ниже



Лазерный уровень (слева) дал возможность автоматизировать дорожные работы.

филь. Все это достаточно долгое и кропотливое дело. А если приходится работать не на пустом месте, а реконструировать уже работающий завод или дорогу? Приходится приостанавливать работу и пускать машины в объезд. И все это только для того, чтобы можно было спланировать новую стройплощадку.

Но появилась идеально прямая линейка — газовый лазер. Достаточно установить его горизонтально, чтобы его луч сам давал на рейке отметки высот,— иди и записывай. Можно, впрочем, и не записывать, а установить фотоприемник прямо на дорожной машине. На приемнике — три глазка. Расстояние между ними не больше сантиметра. Идет скрепер по будущей трассе, а луч лазера попадает в датчик, установленный на его ноже. Попал он в средний глазок — норма; в верхний — нож опущен слишком глубоко, много земли снимает; попал в нижний — недобор, нужно опустить нож. Машина сама, автоматически, даже без вмешательства человека, может прокладывать трассу прямо по заданному профилю.

При помощи лазера можно строить профиль прямо с самолета или вертолета, даже не опускаясь на землю. На борту самолета стоит лазерный локатор, который посылает импульс света вертикально вниз. Отразившись от земли, свет возвращается на борт и попадает в фотоприемник. Измерения, сделанные таким способом, очень точны; их ошибка равна пяти-шести сантиметрам по вертикали и двум-трем — по горизонтали. С самолета, идущего на высоте около километра, таким способом можно пересчитать камни, лежащие на дороге! Лазерный локатор поможет отыскать ровные посадочные площадки на льду, песке, лугах и любых других подходящих для этого местах. «Нарисовав» профили морских волн вдали от берега, можно оценить силу ветра, состояние моря и высоту волн. Таким способом можно точно определить границы арктических антициклонов, когда долгая полярная ночь не позволяет вести аэрофотосъемку.

Лазер помогает сажать самолеты. Идеально прямые, яркие лучи разноцветных лазеров образуют в воздушном пространстве аэродрома разметку, по которой самолет может точно выйти на посадочную полосу. В долгом полете часть труда летчиков сейчас берет на себя автопилот, а взлет и посадка до сих пор остаются узким местом авиации. Лазерный способ наведения самолетов позволит сажать их автоматически, без вмешательства человека, и избавит пилотов от огромных нервных перегрузок.

Но лазер способен не только облегчать жизнь здоровых людей, он может и лечить больных.

ЛАЗЕР — ХИРУРГ И ТЕРАПЕВТ

Идет хирургическая операция. В напряженной тишине операционной слышны только отрывистые команды хирурга: «Скальпель!», «Зажим!», «Тампон!».

Скальпелем делают разрез. Зажимом перекрывают крупные кровеносные сосуды, которые пришлось перерезать. Тампоном удаляют кровь с операционного поля. Крови много; кроме больших сосудов, есть еще множество мелких, капиллярных, которые уже не пережмешь. Сейчас умеют останавливать кровь различными способами, а еще лет сто пятьдесят назад рану приходилось прижигать, чтобы «заварить» концы сосудов и не дать им истечь кровью. Хирурги давно мечтали об инструменте, делающем бескровный разрез. Хорошо бы также, чтобы он был «понежнее». Ведь сегодня хирурги умеют делать операции на сетчатке глаза и вторгаются в святая святых организма — человеческий мозг. Орудовать там скальпелем — все равно что чинить часы топором.

Современная техника предложила инструмент, сочетающий в себе оба эти требования,— световой луч!

Что может быть нежнее прикосновения луча света? Лазерным лучом можно сделать разрез



В руке у хирурга лазерный скальпель.



Глазную операцию, которая раньше была бы очень сложной (или невозможной вообще), теперь можно проводить амбулаторно, в поликлинике. Маленький пациент не успеет буквально и глазом моргнуть, как все неприятности будут позади.

шириной в тысячную долю миллиметра. В зависимости от энергии, которую он несет, и времени его воздействия, он может «заварить» сосуд (как говорят медики — коагулировать его) или, наоборот, пробить в нем отверстие.

Даже цвет луча оказался важен в хирургии. Кровь красная потому, что пропускает красные лучи и задерживает, поглощает лучи всех других цветов. Поэтому рубиновый или гелий-неоновый лазер для «заваривания» сосудов не годится. А если использовать зеленый или синий лучи света, которые хорошо поглощаются кровью, можно добиться мгновенного образования сгустка крови, закупоривающего перерезанный сосуд. Такой свет дает аргоновый лазер.

Бывают случаи, когда нужно разрушить поврежденную ткань, не затрагивая близлежащих сосудов. Тогда применяют гелий-неоновый или криптоновый лазер; луч красного цвета пройдет сквозь кровеносные сосуды, «не заметив» их, не принеся им вреда, прямо в нужную точку.

Особенно удобен оказался лазер в офтальмологии — области медицины, ведающей зрением.

Есть такое заболевание — сахарный диабет. Возникает оно из-за недостатка в организме инсулина — гормона поджелудочной железы. Лет сорок назад такой диагноз означал близкую и верную смерть. Создание искусственного инсулина спасло жизнь миллионам людей. Но тут обнаружилось то, что мало кто мог предвидеть: люди, которым спасли жизнь, стали слепнуть.

Оказалось, что нарушения обмена веществ, вызванные болезнью, накапливаясь из года в год, приводят к тяжелым поражениям сетчатки глаза, того слоя светочувствительных клеток, которому мы, собственно, обязаны зрением. Слой этот пронизан кровеносными капиллярами. Оказалось, что при диабете часть их обескровливается, а часть растягивается и начинает «протекать», образуя многочисленные излияния. Начинается бурный рост новых сосудов, которые отсасывают кровь из здоровой ткани, лишая ее питания. Кроме того, новые сосуды из здоровой ткани непрочны и легко рвутся. От тяжелых повторных кровоизлияний может погибнуть весь глаз.

Лазерный луч можно ввести в глаз прямо через зрачок. С его помощью можно отрезать ненужный сосуд, заварить тот, который протекает, и ликвидировать следы кровоизлияний. Для этих целей по заказу медиков и под руководством лауреата Нобелевской премии, академика А. М. Прохорова, одного из создателей лазера, были разработаны лазерные установки. Сегодня после многолетней практики лечения с их помощью можно твердо сказать, что

Красный луч рубинового лазера свободно проходит сквозь оболочку красного шарика и поглощается синим, прожигая его. Поэтому при хирургической операции световой луч воздействует на стенку кровеносного сосуда, «не замечая» самой крови.

лазерная хирургия глаза — на правильном пути.

А если применить гигантский импульс света длительностью в миллиардную долю секунды? Он, не успев нагреть живую ткань, пробьет ее насквозь. Именно так лечат глаукому — еще одно опасное глазное заболевание, которым страдает три процента населения планеты. Оно возникает, когда в глазу повышается давление жидкости. Нужна операция, сложная и опасная. Гигантские импульсы лазера могут пробить в задней поверхности радужной оболочки глаза микроскопические отверстия — канальца для оттока внутриглазной жидкости. Давление нормализуется, угроза слепоты отступает.

При помощи лазера делают операции желудка и кишечника. Их стенки состоят из многих слоев ткани, пронизанных кровеносными сосудами. При операции эти слои сшивают поочередно, сильно травмируя при этом ткань. К тому же все время остается вероятным, что какой-то слой будет случайно проколот, это неминуемо приведет к перитониту — воспалению брюшной полости. Лазерный луч может аккуратно, слой за слоем, «сварить» ткани и прекратить кровотечение.

Любой хирургический инструмент перед операцией тщательно стерилизуют. Лазерный луч не только в этом не нуждается, но и сам может обеззараживать раны, убивая микробов и испаряя отмирающие ткани.

Целительный луч можно ввести прямо в желудок больного при помощи гибкого световода и оперировать, не вскрывая брюшной полости. И не только в желудок можно ввести световод, но и в сердце. Лазерный луч способен провести операцию на сердце изнутри, навсегда избавив больного от страданий.

Зубы, наверное, лечили все. А если и нет, то почти наверняка каждому в его жизни предстоит испытать это сомнительное удовольствие. Множество людей смотрят на зубной кабинет, как на камеру пыток, где главное орудие пыток — это, конечно, бормашина. Но она необходима: из больного зуба нужно удалить почерневшую, пораженную кариесом ткань, прежде чем накладывать пломбу.

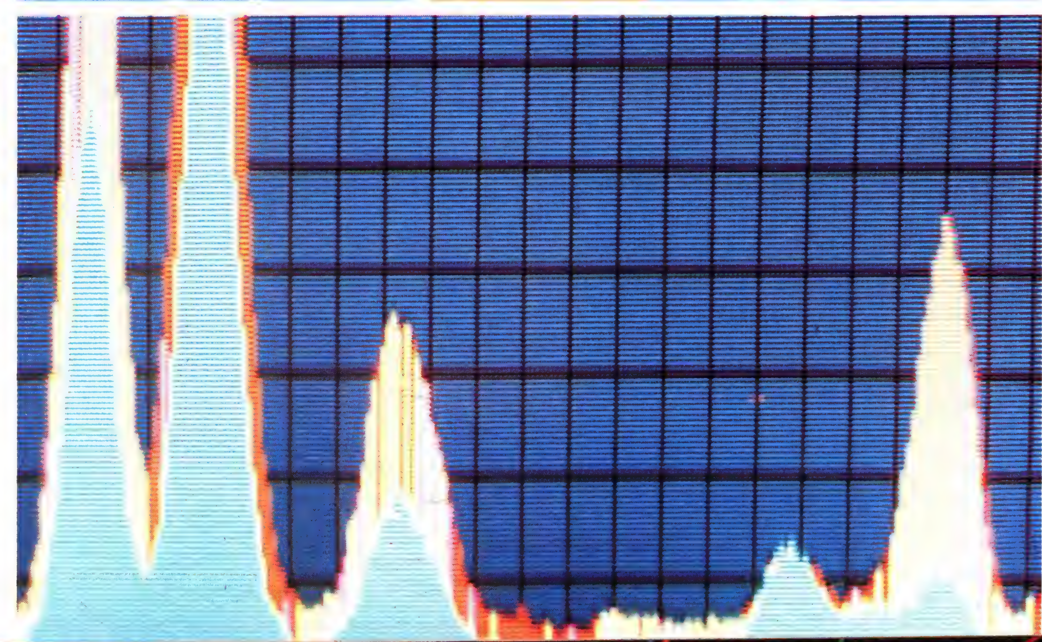
Однако похоже, что «зубосверлильные» ужасы в скором времени отойдут в область преданий: вместо сверла уже пробуют применять лазер, и не без успеха. Световой импульс хорошо отражается от белой блестящей поверхности здоровой зубной ткани и поглощается потемневшей, больной, которую он разогревает и испаряет вместе с микробами.

А казахские ученые предложили использовать лазер вместо иглы при старинном способе лечения — иглоукалывании, возникшем

в восточной медицине более двух тысяч лет назад. В особые чувствительные точки на теле человека втыкаются металлические, костяные и даже... каменные или керамические иглы. Врач должен наизусть знать расположение многих сотен точек на теле и их назначение. В ленинградском Эрмитаже хранится древняя статуя, долгое время удивлявшая ученых,— это пустотелая бронзовая фигура человека в полный рост, для чего-то вся покрытая мелкими дырочками. Назначение ее стало ясно после того, как прочитали старинный тибетский трактат по медицине: это оказался древний врачебный тренажер! Статуя снаружи покрывалась слоем воска, а внутрь нее наливалась вода. Если ученик врача попадал иглой в нужную точку, выступала капелька воды, показывая, что



Зеленое растение превращает углекислый газ атмосферы и воду в нужные ему органические вещества и кислород. Превращение это происходит только на свету и называется поэтому реакцией фотосинтеза. За год все растения синтезируют 100 миллиардов тонн органических веществ и 145 миллиардов тонн кислорода. Механизм этого процесса еще не совсем понятен, и в лабораториях его исследуют при помощи новейшей лазерной и электронно-вычислительной техники.



место укола найдено правильно.

Игла, попавшая в нужную точку, раздражает находящееся в ней нервное окончание. Таким способом можно влиять на работу внутренних органов, связанных с этим нервным центром, лечить многие болезни и даже избавлять от вредных привычек — тяги к курению, например.

Проведя луч лазера при помощи волоконного световода к нужным точкам, казахские медики научились обходиться без игл. Чтобы возбудить или успокоить нервную систему, хватает тепла, доставляемого лучом в нервное окончание. При этом применяют непрерывное или пульсирующее излучение, фокусируют его или пропускают через матовое стекло: для разных целей — разные способы воздействия.

Но облучать лазерным светом во имя здоровья можно не только людей, он благотворно влияет и на растения. Для их облучения выбрали красный свет гелий — неонового лазера: он имеет наибольшую биологическую активность. Облучили этим светом семена пшеницы. Их всхожесть повысилась на 15–20%. Такие же результаты дала обработка семян огурцов, помидоров, арбузов и дынь.

В 1977 году облученными семенами засеяли сразу несколько полей, всего 50 тысяч гектаров. Причем были поля, на которые высевали семена, облученные дважды и трижды. Результаты получились ошеломляющие: трехкратное облучение повысило урожай на 45 процентов, двукратное и однократное — от 20 до 36 процентов! Со всех «лазерных» полей собрали дополнительно почти шесть тысяч тонн зерна.

Количество витамина «С» в облученных помидорах возрастает на четверть, в сахарной свекле увеличивается количество сахара. И все культуры без исключения повышают урожайность, все становятся устойчивее к болезням, легче переносят холода и засуху, быстрее привыкают к новым климатическим условиям.

Кроме того, лазерный свет оказался способным вызывать у растений положительные мутации — стойкие изменения в организме, передаваемые по наследству. Так можно выводить новые сорта растений — более урожайные, способные созревать раньше, с более крупными плодами.

В чем тут дело, каков механизм столь благотворного влияния лазерного света буквально на все свойства растений, пока не совсем ясно. Возможно, световая волна «раскачивает» атомы в биологических молекулах, возбуждая их. А может быть, лазер «научил» растение улавливать отдельные кванты излучения — фотоны — и с их помощью проводить новые биохимические реакции.

Так или иначе, совершенно очевидно, что основную роль тут играют именно уникальные свойства лазера — когерентность и монохроматичность его света.

Эти же свойства лазера позволили использовать его для получения объемных изображений, настолько похожих на настоящие, материальные предметы, что это иногда приводит к курьезным историям.

«ПРОПАЖА» В МУЗЕЕ И «ПОЛНАЯ ЗАПИСЬ»

Однажды в музей небольшого города привезли коллекцию старинных драгоценностей. В витринах, освещенных яркими лампами, стояли маленькие застекленные шкатулки, а в них драгоценными камнями и эмалями сверкали старинные ордена и броши, тускло отсвечивали золотые кольца и браслеты работы древних мастеров, золотые самородки причудливой формы. Маленькая комната скромного провинциального музея превратилась в сказочную пещеру, заваленную несметными сокровищами: выставка была подготовлена Алмазным фондом СССР и Золотой кладовой. Посетители рассматривали драгоценности, восхищались мастерством ювелиров, дивились величине камней и их игре.

Но вот настал вечер, посетители разошлись, и музей закрылся. Тогда заволновались сотрудники, дежурившие в зале: рабочий день окончился, почему же никто не приходит убирать драгоценности в сейф?! Стоимость их не поддается оценке, а на окнах нет даже решеток, мало ли что!

И тут в зал вошел электрик и повернул выключатель... Погасли лампы, и сразу пропали сияющие бриллианты, драгоценные эмали и золото. В витринах лежали листы стекла, мутного и как будто грязноватого. На выставке были не настоящие драгоценности, а фотопластинки с их изображениями! Но изображения эти не обычные, не плоские, как на фотографиях, а объемные. Их можно рассматривать с разных сторон и простым глазом, и в лупу, их можно даже фотографировать. Вот только потрогать и унести их с собой нельзя.

Способ записи такого объемного изображения носит название

ГОЛОГРАФИЯ,

а сами такие изображения и пластинки с их записью называются голограммами. В переводе с греческого «голография» означает «полная запись»; изображение, записанное на пластинку, да-

ет полную иллюзию настоящего предмета.

Всем известен способ получения изображений на бумаге или пленке — фотография. За сто с лишним лет, прошедших со дня ее изобретения, техника фотографии шагнула далеко вперед. Вместо огромного деревянного ящика — камеры-обскуры — миниатюрный фотоаппарат, вместо коробки стеклянных пластинок — катушка с пленкой. Да и пленка эта не чета старым пластинкам. На заре фотографии человек должен был сидеть перед объективом неподвижно почти час. Теперь мы можем заснять летящую пулю.

Словом, изменилось почти все. Но не совсем, и сегодня фотография остается такой же плоской картинкой, как и сто лет назад. На ней хорошо зарисовано только распределение света, тени и цветов, а расстояния, пространство угадываются не всегда.

Придать объемность фотографиям (и кино тоже) пытаются, делая два снимка с расстояния восемь — десять сантиметров между ними. Такие снимки называются стереопарами и дают ощущение глубины пространства: видно, что одна фигура находится дальше, другая ближе, а ветки дерева протянуты прямо к нам. Но сами эти фигурки остаются безнадежно плоскими, как будто вырезанными из бумаги. Да и рассматривать стереопары нужно в специальные очки. Какая уж тут объемность!

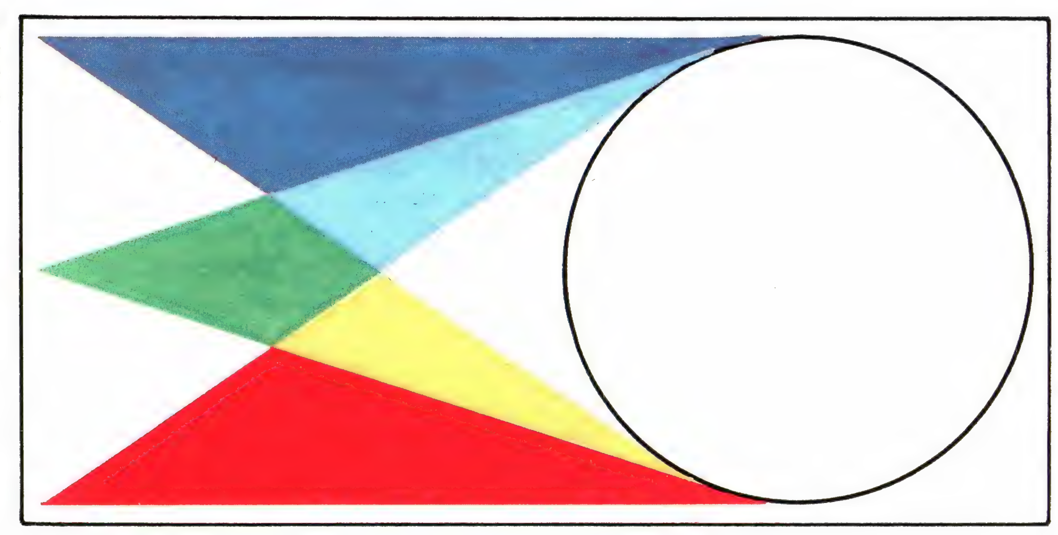
Похоже выглядят и так называемые растровые фотографии: обе фотографии из стереопары режутся на полоски и наклеиваются вперемежку: правая, левая, правая, левая. Сверху накладывают прозрачный растр — пластмассовую пленку с выдавленными на ней зубцами-призмами. Призмы эти расположены так, что правый глаз видит полоски только правого снимка, левый — левого. Полоски эти очень узкие, тоньше миллиметра, поэтому каждый глаз видит «свою» фотографию практически целиком. Получается такая же стереопара, только рассматриваемая без очков.

Но настоящей объемности удалось добиться, только когда на помощь пришел лазер. Пучок лазерного света разделяется на два луча — предметный и опорный. Опорный луч сразу попадает на фотопластинку, а предметный, как легко догадаться,— на тот предмет, который хотят сфотографировать (вернее, получить с него голограмму). Отразившись от его поверхности, предметный луч тоже падает на пластинку и там смешивается с опорным. И если вы еще не забыли главу про плывущие материки и про то, как меряли их скорость, то вы сразу, наверное скажете, чтó при этом смешении лучей (когерентных и монохроматичных!) произойдет.

Да, лучи из предметного пучка,

Объемное изображение предмета — его голограмма — получится, если на фотопластинку одновременно попадут лучи света и от лазера, и от предмета, освещенного этим лазером.

Белый цвет можно разложить в семицветную радугу. Но достаточно только трех цветов, чтобы получить и всю радугу, и белый свет.



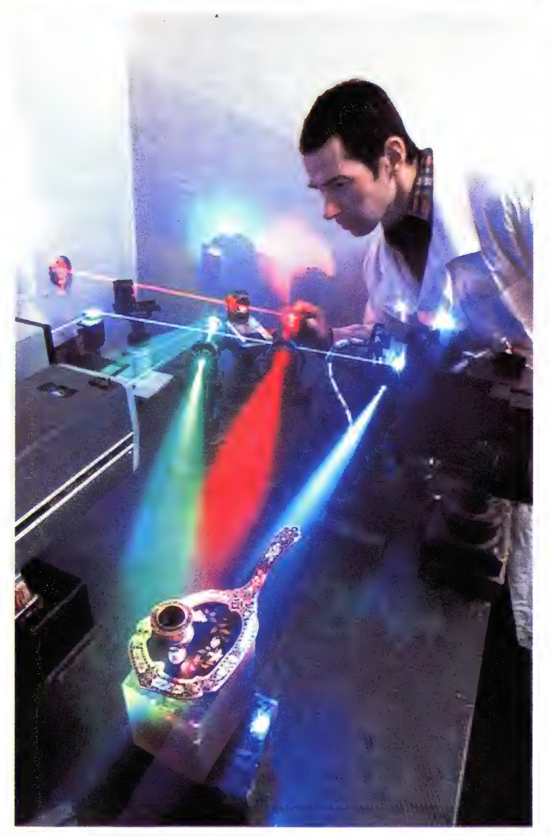
отразившись от разных частей нашей фигурки, придут к пластинке с разными фазами. Сложившись там с опорным пучком, они дадут на пластинке картину в виде линий и точек. Пластина проявляется, как обыкновенная фотография, но никакого изображения на ней пока не видно: линии настолько тонки, что увидеть их можно только в микроскоп, а невооруженному глазу пластинка кажется просто серой и мутной. Однако на ней теперь записаны сведения не только о яркости предмета, но и о его форме. Чем больше расстояние между точками поверхности, тем больше разность фаз лучей, пришедших из этих точек. А чем больше разность фаз, тем шире полосы на пластинке.

И если теперь мы возьмем такой же лазер и осветим им нашу пластинку (теперь уже не просто пластинку, а голограмму!), то мы восстановим изображение нашей фигурки, то есть увидим ее в натуральную величину. На нее можно взглянуть сбоку, снизу, сверху, заглянуть за выступающую деталь. Жаль только, что мешают края пластинки,— полное впечатление, что мы смотрим на предмет через окошко. Но лазер погас, и перед нами снова не окно, а пластинка-голограмма, серая и скучная.

Эта голограмма имеет множество интересных и необычайных свойств.



Объемное изображение человека — его голографический портрет — можно увидеть в московском Политехническом музее.



Чтобы сделать цветную голограмму, на вид неотличимую от реального предмета, необходимы три лазера с излучением разного цвета.

Если разорвать обычную фотографию на кусочки, то изображение, бывшее на ней, погибнет. Останется мешанина темных и светлых пятен, по которым совершенно невозможно определить, что было сфотографировано.

С голограммой этого не произойдет. Лучи света, отраженные любой из точек голографируемой фигуры, попадают на всю пластинку, в каждую ее точку. А это значит, что любой, даже самый маленький участок голограммы будет «помнить» все сведения об изображаемом предмете. Можно разбить голограмму на кусочки, и каждый кусочек даст точно такое же изображение, что и вся пластинка, только менее яркое!

Если мы обычным способом сфотографируем несколько раз на один кадр, то на пленке мы получим нечто совершенно невообразимое. Узнать, что мы хотели запечатлеть, не будет никакой возможности.

Но возьмем голограмму. Одно изображение на ней получим, скажем, при помощи красного лазера, а потом, на ту же пластинку, снимем что-нибудь другое в лучах синего лазера. Изображение погибло? Ничуть не бывало! Осветив голограмму гелий-неоновым лазером, мы увидим изображение предмета, снятого в красном свете, а применив синий лазер, мы увидим то, что было снято в синем. Лазерные лучи просто «не замечают» изображений, зарисованных лучами других цветов. И таких изображений на одну пластинку можно поместить до ста пятидесяти, прежде чем они начнут мешать друг другу, нашлись бы только лазеры, излучающие свет ста пятидесяти разных длин волн! Единственное условие: длины волн не должны быть кратными, то есть не должны отличаться друг от друга в целое число раз – в 2, 3, 7; а например, в 4,75 – пожалуйста. Почему, станет ясно дальше.

Каждый, конечно, держал в руках цветную фотографию или цветной диапозитив-слайд. Фотографическое изображение на них получается сразу в трех светочувствительных слоях, нанесенных на пленку или бумагу. Один слой реагирует только на синие лучи, второй – на зеленые, третий – на красные. Получается три изображения, наложенные друг на друга и окрашенные в разные цвета. Цвета складываются, давая новые: желтый с красным дает оранжевый, синий с желтым – зеленый, синий с красным – фиолетовый и так далее. Трех цветов достаточно, чтобы получить все краски, которые только существуют в природе.

Значит, если взять три лазера, генерирующие лучи красного, синего и зеленого цветов, получить с их помощью голограммы одного и того же предмета на одной

пластинке, а потом с их же помощью восстановить изображение предмета, то изображение это предстанет перед нами во всем богатстве своих красок! Такую голограмму, пожалуй, не потрогав, уже от настоящего предмета не отличишь.

На обычную плоскую голограмму можно записать изображение предмета так, что он будет виден со всех сторон,— спереди и сзади, справа и слева — в зависимости от того, с какого бока мы ее рассматриваем. Для этого перед фотопластинкой помещается маска — непрозрачный экран со щелью. Предмет освещается вспышками лазерного света. После каждой вспышки он поворачивается на небольшой угол, а щель сдвигается, открывая новый, незасвеченный участок будущей голограммы. Предмет повернулся вокруг оси, а на голограмме отпечаталось восемьдесят полосок, шириной чуть больше миллиметра каждая.

На левой части голограммы видна фигурка, снятая со спины. Перемещаясь направо, мы видим, что она поворачивается: показалось ее лицо, сначала в профиль, потом анфас. Еще правее — мы видим ее с другого бока, а на правом краю голограммы она совсем от нас отвернулась...

А что, если для получения голограммы взять параллельный пучок света, а для ее восстановления — расходящийся? Оказывается, полученное изображение будет увеличенным. И тем сильнее, чем больше расходится луч.

А что, если теперь нарушить условие, поставленное ранее, и осветить голограмму не светом той же длины волны, а именно в 2, 3, 7 раз более длинной? Мы опять-таки получим изображение, увеличенное во столько раз, во сколько одна световая волна длиннее другой!

Таким способом можно построить голографический микроскоп, к тому же дающий объемное изображение. Посмотрим, какое увеличение он сможет дать.

За счет расходимости пучка можно получить увеличение раз в двести. Уже неплохо, хотя обычные микроскопы дают до тысячи пятисот.

Так как голограмму можно получать с любыми волнами, получим ее при помощи рентгеновских лучей. А восстановим ее видимым светом. Отношение длин волн при этом составит уже около 5000. Значит, применив оба способа увеличения, мы получим микроскоп с увеличением в миллион! Интересно, какого размера покажется муха, если рассмотреть ее в такой микроскоп? Удастся ли с его помощью сделать из мухи слона?..

Размер средней мухи миллиметров шесть. Значит, ее изображение, объемное и подробное, будет длиной в шесть миллионов



миллиметров, или в шесть километров. Это уже размер не слона, а небольшого городка...

Конечно, такой микроскоп создается не для того, чтобы пугать людей гигантскими призраками. С его помощью рассчитывают заглянуть внутрь живой клетки и проследить за работой ее органов, до сих пор различимых только на мертвых препаратах. Помощи от него ожидают металлурги и физики, изучающие строение материи,— ведь рентгеновские лучи обладают большой проникающей способностью.

Основная трудность на пути создания голографического микроскопа — получение когерентного монохроматичного пучка рентгеновских лучей. Здесь возникают те же проблемы, что и при генерации света большой мощности (они описаны в первой главе). Похоже, что и разрешатся они аналогичным образом — созданием лазера, излучающего в рентгеновском диапазоне.

В научной литературе уже промелькнуло сообщение о том, что созданы зеркала, отражающие рентгеновские лучи. Известно, как можно возбудить рабочее вещество, чтобы его атомы начали излучать эти лучи,— роль лампы накачки могут взять на себя мощные оптические лазеры, электромагнитное поле сверхвысокой частоты и даже поток нейтронов высокой энергии. Будущее устройство

даже получило уже название разер по аналогии с лазером. Так что дело за малым — его осталось только сделать. Мы о нем скоро услышим, а в этой книге мы вспомним его еще раз, уже недобрым словом.

Получать голограммы можно, разумеется, не только с объемных предметов, но и с плоских — букв, цифр, рисунков, фотографий. Это не означает, правда, что обычная плоская фотография после голографирования приобретет объемность. Нет, делается это для того, чтобы можно было автоматизировать и другое, тоже важное дело —

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

...В одном из районов мира вспыхнула эпидемия опасной болезни. На месте возникновения очага заболевания взяты пробы почвы, воды и воздуха. Сделаны анализы крови заболевших людей. Из всех этих проб выделены микроорганизмы, которые всегда там есть. Колонии микробов сфотографированы под микроскопом. Получилась толстая пачка диапозитивов, на которых сняты миллионы микробов разных видов. Среди них нужно найти тот вид, который мог вызвать эпидемию; известен микроб, вызывающий болезнь с похожими симптомами. Нужно просмотреть фотографии микробов из всех проб и узнать, нет ли среди них подозрительных, опознать их, так сказать, «в лицо». Сколько времени на это уйдет? Сутки, двое? А между тем болезнь не ждет, эпидемия распространяется все шире...

...Совершено преступление. Преступник ловко замел следы, и эксперты смогли найти только одну улику — отпечаток грязного пальца, оставленный на стекле. Но в мире нет двух людей с одинаковыми линиями на пальцах, и этого отпечатка вполне достаточно, чтобы найти преступника. Нужно только просмотреть картотеку, где собраны отпечатки пальцев людей, ранее судимых, и сравнить их с имеющимися. Работа эта требует большой точности — ошибиться нельзя! — и кропотливости. На поиск нужной карточки уходит полдня...

...Есть фотография человека. Он очень похож на преступника, которого давно ищут. Он это или не он? Начинается сравнение...

...Изготовлена деталь очень сложной формы. Соответствует ли она образцу, или есть отступления, и ее придется списать в брак? Нужно сравнить с чертежом...

На языке математики очертания бациллы или стальной детали, отпечаток пальца и даже малосимпатичная физиономия преступника носят несколько поэтичное название «образы».

Если изображение мухи в голографическом микроскопе можно увидеть с увеличением в миллион раз, то представляете, какие детали жизни микромира откроются людям!..





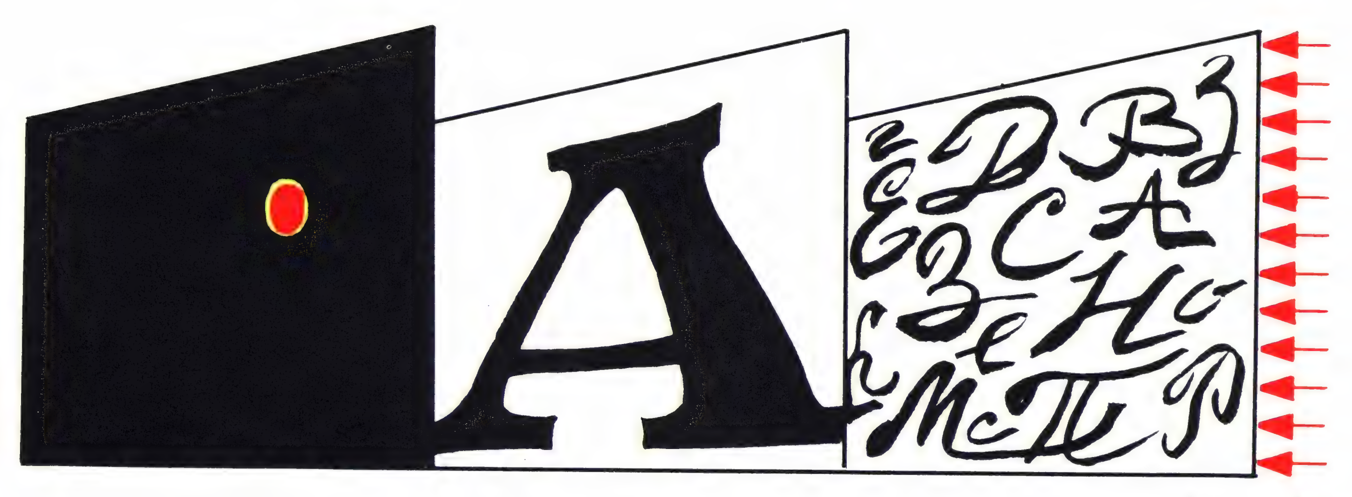
Распознать нужный образ среди других — значит сравнить все их с эталоном, выбрать один-единственный, идентичный ему. Задача эта порой бывает очень сложна, требует опытного глаза и длительного навыка. Проверьте, например, сколько времени у вас уйдет, чтобы в толпе фигурок на рисунке опознать две одинаковые. Признаков, по которым они сравниваются, всего пять-шесть. А если их будет тридцать — сорок? Задача становится неизмеримо сложнее, и кажется, что она никак не может быть решена при помощи машины. Но оказалось, что и в этом нелегком деле может помочь лазер.

Поставим на пути лазерного луча проверяемый кадр с запечатленными на нем образами (например, микрофотографию с изображением двух-трех сотен микробов), затем голограмму эталона, затем — экран. Будем менять диапозитивы: первый, второй, третий — экран остается темным. Но вдруг на нем, справа вверху, появилось яркое пятно. Это означает, что в правом верхнем углу кадра находится искомый образ! Если он в кадре не один, то и точек на экране будет несколько.

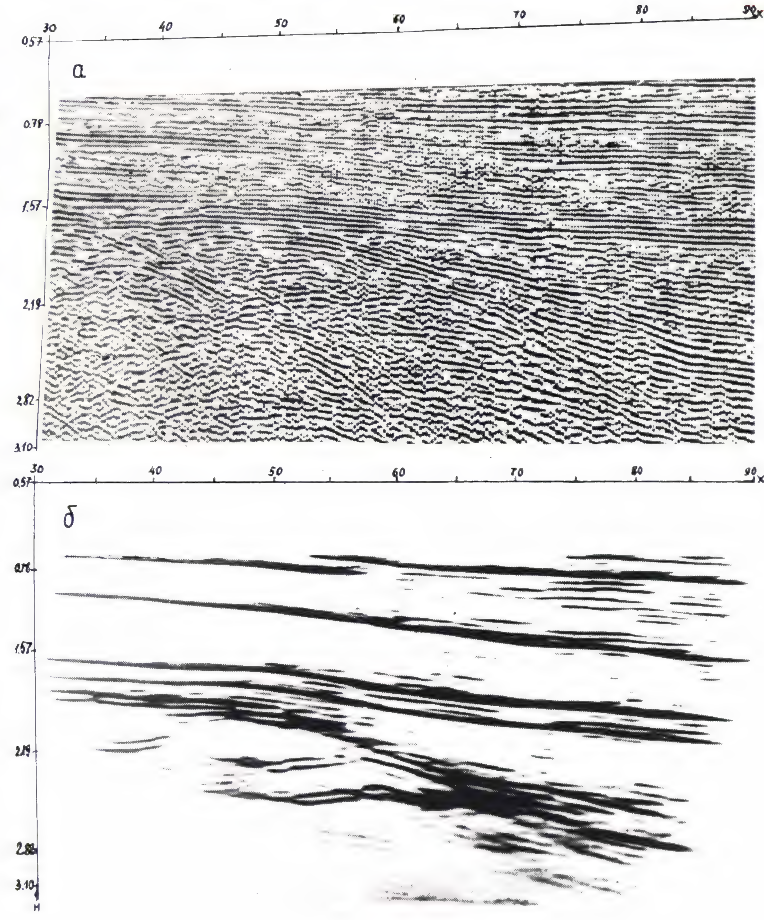
Проверяемый кадр может быть не только диапозитивом. Поиск образов можно вести и на рисунке, и на экране телевизора, в поле зрения микроскопа и даже просто в пространстве, освещенном лазерным светом. Вместо экрана ставится светочувствительный датчик, который срабатывает при появлении светового пятна и отмечает найденное изображение. На поиск при помощи голографии затрачивают в десятки тысяч раз меньше времени, чем при поиске вручную. Таким способом можно вести поиск любых образов, в любом их количестве, и даже не по целому образу, а по его фрагменту, небольшому кусочку.

Например, голограмма сделана со страницы книги. В кадре — часть этой страницы. Мы не только можем найти нужную страницу по ее части, но и получить на экране все ее изображение и прочесть на ней текст, отсутствующий на фрагменте. Такие изображения, восстановленные по фрагменту, называются фантомными (от французского ”phantôme” — «привидение», «призрак»).

С помощью голографии можно контролировать изделия сложной формы. Собрано современное электронное устройство — большая интегральная схема. Большая она не по размерам, а по возможностям: на площади в один квадратный сантиметр собрана целая электронно-вычислительная машина. Если бы ее собирали лет двадцать назад из ламп, то она заняла бы целый шкаф. Сотни деталей, тысячи проводников, их соединяющих, и все они толщиной в



Устройства, оснащенные оптическими фильтрами, позволяют автоматически, без помощи человека, сравнивать сложные изображения, находя одинаковые среди сотен похожих, читать буквы и отсеивать помехи, выделяя полезный сигнал.



сотые доли миллиметра. А нет ли там ошибки, обрыва или неверного соединения? Современное голографическое устройство может автоматически проверять готовые изделия и выявлять брак.

Лопатку турбины — изделие сложной криволинейной формы, которое нужно изготовить с высокой точностью,— устанавливают на стенд и освещают лучом лазера. Свет, рассеянный изделием, пропускают через голограмму шаблона. Есть расхождение между формой лопасти и шаблона — появятся светлые пятна и полосы, число, размер и расположение которых в пространстве характеризует отступление от шаблона. Самое интересное, что сам шаблон делать вообще не обязательно: электронная вычислительная машина по чертежу шаблона может рассчитать и изготовить его голограмму. Такая голограмма называется синтетической. Ее легко отличить от настоящей: на синтетической голограмме виден правильный красивый узор из линий и точек, а на обычной он настолько ме́лок, что простым глазом не заметен.

Такой способ распознавания образов называется оптической фильтрацией: голограмма служит фильтром, который пропускает только нужную информацию, отбрасывая все лишнее.

Поэтому другой способ применения оптической фильтрации — исправление и упрощение исходного материала. Фильтром в этом случае служит уже не голограмма, а непрозрачная маска нужной формы.

...Есть такой способ разведки полезных ископаемых — сейсморазведка. На поверхности земли или в шахте взрывают заряд динамита. Упругая взрывная волна, которая распространяется в почве, достигает слоев плотных горных пород, лежащих в ее глубине. От этих слоев она отражается, как от зеркала, и возвращается обратно к поверхности. Там она попадает в приемники, которые записывают эти отраженные волны. Такая запись может многое рассказать о том, что скрыто в толще земли на глубине сотен метров и даже нескольких километров, как проходит пласт, из каких примерно пород он состоит, сухой он или пропитан нефтью, и многое другое. Одним словом, сейсморазведка сегодня — наиболее простой и дешевый способ разведки полезных ископаемых. Но на практике все гораздо сложнее: упругая волна идет не только вглубь, но и по поверхности. Слоев, от которых отражается волна, может быть несколько. При взрыве заряда в скважине очень мощная волна идет вверх по обсадной трубе. Все эти волны тоже попадают в датчики и записываются станцией. В результате на ленте с записью образуется

сложнейшая картина, на которой в перепутанном виде присутствуют добрых полтора десятка различных волн, наложенных друг на друга. Из них геологов могут интересовать две-три, от силы четыре волны, а остальные только мешают. И вот сидят специалисты-интерпретаторы и, продираясь сквозь путаницу линий, выделяют нужные волны. А как хорошо было бы упростить картину, убрать ненужные кривые!

Вот тут-то и применяется метод оптической фильтрации. Фильтр, имеющий вид непрозрачной полоски, ставится под тем же углом, что и запись волны, которую нужно убрать. И на экране мы видим ту же знакомую картину, но без мешавшей нам волны! А на тех местах, где она проходила, нет даже пустого места, дыры, разорванные фильтрацией края кривых соединены, «сшиты» воедино так, как будто они всегда были вместе. Таким же способом фильтруют и результаты аэрокосмической фотосъемки, выделяя протяженные геологические структуры — линеаменты. Если группа линеаментов имеет в каком-то районе одно направление, то там следует ожидать появление глубоких трещин-разломов земной коры. По ним к поверхности когда-то поднимались расплавленные породы, неся с собой железо, медь, никель и другие полезные ископаемые. Так возникали месторождения. Выделяя линеаменты, мы можем открывать новые залежи прямо на карте.

Голографические методы позволяют обнаружить и измерить ничтожно малые деформации и вибрации таких нежных предметов, что к ним нельзя прикоснуться ничем, кроме луча света. Хотя почему же обязательно только «нежных»? Это могут быть предметы, нагретые до высоких температур или двигающиеся с большой скоростью. Так изучают потоки раскаленных газов в реактивных двигателях и турбинах. Так же работает лазерный микрофон, который позволяет с расстояния в несколько сот метров услышать разговор в комнате за наглухо закрытым окном. При разговоре оконное стекло слегка вибрирует, а голограмма превращает эту вибрацию в такие колебания света и тени, что их уже легко можно превратить обратно в звук.

Подобным образом можно видеть и то, что скрыто от взоров, например под водой. Принципы голографии применимы к любым волнам, в том числе и к звуковым. Поэтому вместо опорного и предметного лучей, освещающих предмет, можно использовать два пучка звуковых волн. Мы получим на поверхности воды рябь, но, осветив ее лучом лазера, можно увидеть восстановленное объемное изображение предмета, лежащего под водой. Считают, что таким



Акустическая голография. Два излучателя ультразвука создают на поверхности воды рябь — звуковую голограмму. Осветив ее лучом лазера, можно восстановить объемное изображение всего того, что находится под водой.

способом можно будет обнаруживать вражеские подводные лодки в глубинах морей и океанов. Излучатели звука можно будет расставить на дне моря (например, на границах акватории государства) или поместить на борту судна. А лазер можно установить на самолете или на спутнике. Может быть, удастся, наконец, получить и портрет легендарной Несси из шотландского озера?

Голографические методы могут заменить рентгеновский способ обследования. Человеческое тело прозрачно для рентгеновских лучей, но эти лучи небезвредны для живого организма. Большая доза облучения ими может привести к тяжелой и опасной лучевой болезни. Конечно, от трех-четырех минут, проведенных пациентом в кабинете, вреда не будет, но врач, который там работает, вынужден надевать тяжелый фартук и рукавицы из резины, смешанной со свинцовой пылью — это защищает от губительного излучения. Опасные рентгеновские лучи решили заменить ультразвуком. Пациента погружают в ванну с водой. Пучок ультразвуковых волн, безвредных


Лазер
Объектив
Звуковая голограмма
Опорный пучок
звуковых волн

Многие электронные вычислительные машины до сих пор работают на перфолентах. Но им на смену приходят устройства на лазерных дисках. Миниатюрные метки, сделанные на диске лазерным лучом, обеспечивают невиданную плотность записи.





На диске диаметром 12 сантиметров умещается столько же программ, сколько в десятке шкафов с лентами. На таком же диске можно записать и целый телефильм, идущий 1 час 12 мин — свыше 100 тысяч цветных изображений. Так, горы информации, содержащейся в привычной нам форме — в книгах, журналах, можно уместить буквально в наперстке...

для человека, по-разному проходя через мышцы, сухожилия и кости, рисует на поверхности воды голографическую картину, которую восстанавливает лазер. На такой голограмме хорошо видны детали строения организма, работа мышц и суставов. Этот способ получения изображений называется звуковидением, или акустоголографией. Поговаривают уже о «сейсмоголографии», которая должна давать объемные изображения пластов горных пород, засыпанных песком, глиной и другими осадочными породами. Такую голограмму будут восстанавливать уже не лазером: изображение построит электронная вычислительная машина. Основная проблема здесь все та же — достаточно точный и мощный источник монохроматичных волн, акустических и — особенно! — сейсмических. При помощи взрывной волны голограмму не построишь...

И наконец, совсем недавно появились голограммы, для восстановления которых не нужен лазер. Их объемное изображение можно рассматривать в белом свете — хоть на солнце, хоть при свече. Именно такие голограммы заставили волноваться работников маленького музея.

Записываются они так же, как и обычные голограммы,— лазером. Но полосы, линии и точки, образующие голограмму, располагаются в них не вдоль пластинки,





а поперек нее. Светочувствительная эмульсия, налитая на пластинку, имеет толщину меньше миллиметра и в микроскоп похожа на пирожное «наполеон» — она вся состоит из темных и светлых слоев. Отражаясь от них на разной глубине, лучи складываются и взаимодействуют, давая объемное изображение. При этом из пучка белого света голограмма сама выбирает лучи именно той длины волны, которой она была записана, а остальные гасит.

Такая голограмма выглядит, как коробочка глубиной несколько сантиметров, а в действительности настолько тонка, что такие поперечные голограммы можно вклеивать в книги, как когда-то вклеивали цветные иллюстрации.

Правда, такую голограмму уже нельзя разрезать на части, не испортив,– этим она похожа на фотографию. Но и в толстой эмульсии можно записывать цветное изображение, и хранить сотни голограмм на одной пластинке тоже можно. Было подсчитано, что 1 см^3 такой записи может заменить библиотеку в пять миллионов томов по 200 страниц каждый, если на каждой странице напечатано в среднем по 1000 слов из семи букв каждое! Трудно поверить, но все знания, накопленные человечеством, все, что было написано за всю его историю – от первых рукописных фолиантов до вчерашнего выпуска газет (включая и эту книгу),– записав в голографической форме, можно засунуть в ящик письменного стола!

Но лазер – это не только объемная фотография и библиотека в кармане, не только новые сверхточные методы измерения и новая технология. Лазер способен давать

ЛУЧ – ОРУЖИЕ

История такого оружия уходит в седую древность.

Двести двенадцатый год до новой эры. Древняя Греция ведет тяжелую войну с римскими завоевателями. Небольшой город Сиракузы со всех сторон окружен врагами. Корабли противника закрыли доступ к городу с моря, многочисленные, хорошо вооруженные войска – с суши. В городе



начался голод. Но в Сиракузах жил великий ученый Архимед, который уже придумал множество хитроумных машин, помогающих оборонять город, и греки надеялись, что и в этот раз какое-нибудь его изобретение поможет им одолеть врага.

Опасались этого и римляне. Они хорошо помнили, как неосторожно приблизившиеся к стенам города корабли хватала огромная когтистая лапа и, вытаскивая из воды, ломала пополам. Это был вооруженный бронзовыми крючьями «ворон» — боевая машина, изобретенная Архимедом. Поэтому корабли держались на почтительном расстоянии от берега, там, где им вроде бы ничто не угрожало. Безопасность, однако, оказалась мнимой. Однажды в жаркий полдень на стены города, обращенные к морю, поднялось множество людей. Мужчины-воины несли отполированные до блеска бронзовые щиты, женщины — сияющие серебряные зеркала. На берегу засверкали солнечные зайчики, такие веселые и безобидные. Но вот все горожане по команде Архимеда одновременно навели свои зеркала на борт римского корабля, в одну точку. Прошло несколько секунд, и на черном борту судна стала пузыриться и закипела смола; еще несколько томительных мгновений, и корабль, сделанный из просмоленного дерева, вспыхнул, как факел.

Луч — оружие

А маленький солнечный зайчик, оказавшийся таким страшным оружием, уже плавил смолу на борту соседнего корабля...

Римский флот охватила паника. Рубя якорные канаты и в спешке ломая друг другу весла, корабли уплывали прочь, стараясь уйти подальше, пока их не настиг сжигающий луч...

Так повествует легенда. И долгое время она считалась чистой выдумкой, пока группа французских студентов не проверила ее на опыте. Из сухого дерева была изготовлена модель старинного корабля, просмолена и загружена резаной шерстью (из нее в старину делали паруса и канаты).

Тридцать студентов, взяв карманные зеркала, с расстояния двадцати метров навели солнечные зайчики на борт кораблика.

Через полторы минуты он уже пылал, подожженный лучом света,— оружием, изобретенным великим Архимедом.

Мысль об оружии, «стреляющем» лучами света, издавна не давала покоя писателям-фантастам. Научно-фантастический роман английского писателя Герберта Уэллса был написан почти сто лет назад. Вот сцена боя между миноносцем «Гремящий» и боевой машиной марсиан — треножником.

«...«Гремящий» шел таким ходом, что через минуту уже покрыл половину расстояния между па-

роходиком и марсианами... С низко сидящего в воде пароходика, глядя против солнца, казалось, что миноносец находится уже посреди марсиан. Один из них поднял генератор теплового луча, направив его под углом вниз; облако пара поднялось с поверхности воды от прикосновения теплового луча. Он прошел сквозь стальную броню миноносца, как добела раскаленный стальной прут сквозь лист бумаги... Миноносец все еще боролся: руль, по-видимому, не был поврежден, и машины работали. Он шел прямо на второго марсианина и находился в ста ярдах от него, когда тот направил на «Гремящего» тепловой луч. С грохотом среди ослепительного пламени палуба и трубы взлетели вверх... Все скрылось в хаосе кипящей воды и пара...»[1].

Нам ничего не сообщают о том, как был устроен «генератор теплового луча», резавшего корабельную броню, как бумагу. Но нынешние читатели понимают, что на это способен, пожалуй, только лазер.

Роман «Гиперболоид инженера Гарина» А. Толстого был настолько популярен, что когда появились первые лазеры, их тут же окрестили «гиперболоидами», несмотря на то, что это устройство, талантливо описанное в романе, хотя и давало луч, режущий сталь и камень, но работало совсем по-другому. И уж если честно говорить, то работать так, как это описано в романе, оно вообще не могло бы: в первой модели гиперболоида горело несколько свечей. Не говоря уже о том, что свет от такого большого и нелепого источника в «луч, тонкий, как игла» свести никак бы не удалось; температура в фокусе этого луча была бы равна... температуре свечи, то есть градусов 700—800, не более. Лист брони так не прорежешь! Но дело не в этом. Главное, что сегодня «Гиперболоид инженера Гарина» читается как роман-предостережение.

«—...Пушки, газы, аэропланы — все это детская забава... Тут не один Гарин... Смертоносная машина и миллиарды. Всего можно ждать»,— говорит один из героев романа.

Потом на страницах фантастических романов появились различного рода «бластеры» и «скорчеры», стреляющие «сгустками энергии», «разрядами» и все теми же «тепловыми лучами».

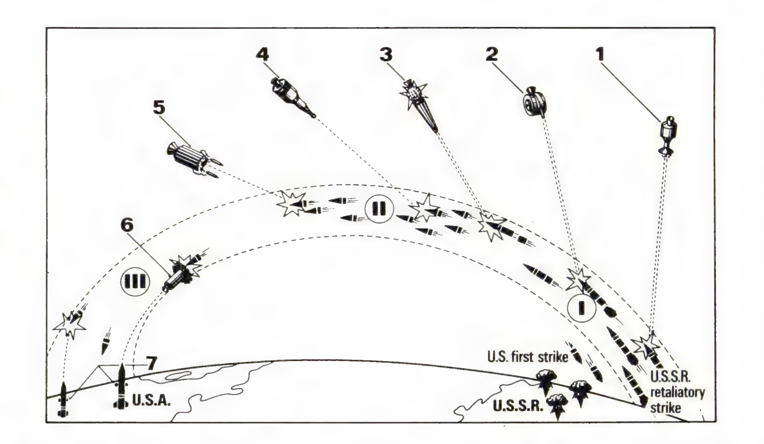
В фильмах огромные космические корабли эффектно сжигали целые города и распарывали друг друга лазерными лучами.

Идея, как говорится носилась в воздухе, и к ней привыкли настолько, что совершенно незамеченной прошла небольшая газетная заметка, в которой говори-

[1] Уэллс Г. Война миров. М., «Мол. гвардия», 1956. с. 249—250.



Знак «Опасно! Лазерное излучение!». Его можно видеть на дверях лабораторий и цехов, где работают с лазерным излучением. В этой книге им отмечена глава о военном применении лазеров.



Такие схемы и рисунки до сих пор встречаются на страницах западных газет и журналов. Они должны убедить читателей, что лазерное оружие способно обеспечить абсолютно надежную систему обороны.

лось, что при помощи лазерной установки большой мощности был сбит самолет-мишень. Так фантастика стала реальностью.

Скорости современных самолетов приближаются к скоростям ракет и снарядов. Поэтому чтобы попасть ракетой в самолет, нужны сложные вычисления и непрерывные измерения скорости самолета и его дальности. Самолет маневрирует, ракета тоже, скорость сближения невелика, времени мало, можно и не успеть...

К тому же самолет защищается. Он старается помешать работе ракетного комплекса – ставит радиопомехи, выбрасывает тучи тонких стальных иголок или облака алюминиевой фольги, загораживаясь ими от локатора как экраном. А может и выпустить специальную ракету: ориентируясь по лучу локатора, она влетает прямо в антенну, разнося ее вдребезги.

Скорость света – триста тысяч километров в секунду. По сравнению с ней любой, самый скоростной самолет можно считать неподвижным. Сбить его при помощи лазера проще, чем подстрелить утку из двустволки. Радиолокатор не нужен, самолет можно поймать в оптический прицел, буквально взять его на мушку, и противник раньше времени не догадается, что его обнаружили.

Из лазерной винтовки можно поджечь стог сена, за которым укрылся противник, одежду на нем, обжечь и ослепить его самого. Накачку таких боевых лазеров предполагается делать при помощи... взрыва. Маленький, массой в несколько граммов, заряд взрывается, резко поднимая температуру и давление вблизи рабочего тела, которое превращает энергию взрыва в энергию световой вспышки.

Правда, в атмосфере лазерное оружие не очень эффективно. Дождь, пыль, туман – все это резко снижает дальность его действия. Кроме того, его мощность нельзя повышать беспредельно, в определенный момент наступает явление, называемое «оптический пробой». Луч света, до этих пор шедший в воздухе параллельным пучком, внезапно сам собой собирается в тонкую нить, как будто на его пути поставили линзу (это явление так и называется – самофокусировка). Воздух в ней нагревается и начинает светиться так, как будто его прошил разряд молнии. Дальше этой светящейся искры лазерный луч не пойдет, вся его энергия затратится на нагрев газа.

Подобных неприятностей нет в космическом пространстве. Поэтому военное министерство США, приняв программу создания боевых космических платформ, оснащенных ракетами, вскоре дополнило ее пунктом о разработке лазерного оружия для борьбы с



На развороте: космический корабль многоразового действия выводит в космос импульсные многолучевые лазеры с ядерной накачкой. Каждый стержень такого лазера по команде с Земли наводится на свою цель и поражает ее пучком рентгеновского излучения, вызванного взрывом небольшого ядерного заряда. Сам спутник при этом погибает. Химический лазер непрерывного действия с поворотным зеркалом излучает инфракрасный и видимый свет; он поражает цели не только в космосе, но и на земной поверхности. Специалисты по электронике и военной технике сомневаются, что эта громоздкая и сложная система обороны будет достаточно надежной и эффективной.







боевыми спутниками и ракетами — «космического щита».

Наиболее подходящими для военных целей считаются непрерывные химические и импульсные рентгеновские лазеры. Мощность химических лазеров уже сегодня превышает 2 мегаватта, а рентгеновских — миллиарды мегаватт при очень коротких импульсах. Этого должно хватить, чтобы на лету разрезать ракету или, во всяком случае, вывести из строя ее приборы.

Накачивают сверхмощные разеры небольшим ядерным взрывом. Рентгеновское излучение возникает в тонких цинковых или магниевых стержнях диаметром около одного миллиметра и длиной в несколько метров. Каждый стержень наводится на свою цель. Рентгеновский лазер — одноразовый: взрыв заряда накачки разносит его в пыль. Химический лазер можно зажигать и гасить несколько раз. Но запас топлива на борту спутника, несущего лазер, невелик, поэтому лазер пытаются разместить на земле, выведя в космос только спутники с зеркалами, наводящими луч на цель.

Вся эта техника уже существует и испытывается на Земле. Правда, лазеры — это полдела. Чтобы «космический щит» работал надежно, его электронные системы должны ежесекундно безошибочно перерабатывать колоссальное количество команд. Комиссия, состоявшая из известных американских физиков, тщательно исследовала положение дел с разработкой «щита» и пришла к выводу, что такой системы пока нет и до конца нашего тысячелетия не будет. Кое-кто из них считает, что ее нельзя создать в принципе.

До самого недавнего времени все это было только в теории. Но сегодня уже имеются опытные образцы боевых лазеров. Правда, лазеры — это полдела. Для них нужна электронная система управления, которая получается неимоверно сложной и не очень надежной,— малейшая помеха может привести к сбою. Поэтому специалисты-радиотехники сомневаются в ее эффективности. А пока лазеры в военном деле широко применяются как прицелы и указатели цели. Под стволом автомата или винтовки укреплен маленький лазер. Его луч, параллельный траектории пули, дает на мишени яркое пятнышко. Целиться, ловить мишень в перекрестье прицела не нужно: издали видно, куда попадет пуля.

Точно так же наводят ракеты и авиабомбы. Только в этих случаях лазер устанавливают на самолете, а за световым зайчиком следит автоматическая система наведения на самой ракете.

Артиллерийский лазерный дальномер может определить

расстояние до цели (десять — двенадцать километров) с точностью до пяти метров.

Используют лазеры и для имитации стрельбы на учениях. На бойца надевают амуницию с приемниками лазерного света на груди, спине и голове и электронную схему с батареями питания. К автомату присоединяется небольшой импульсный лазер, срабатывающий от звука выстрела — холостого, разумеется. Начинается бой. Если световой импульс попал в бойца (то есть он «убит»), электронная система, надетая на него, выключает лазер и начинает довольно громко и противно выть. Боец отключает сирену, вынув из автомата затвор,— этот «бой» для него закончен.

Используется лазер в военном деле и для связи. И не только в виде оптического телефона, будь то по волоконным кабелям или по открытому лучу света.

На дне моря на глубине в добрую сотню метров лежит подводная лодка. Она может лежать там неделями — пищи, воды и воздуха на борту огромного подводного корабля хватит надолго. Ее двигатели выключены, на борту мертвая тишина: звук в воде разносится далеко, а обнаруживать себя ей нельзя. Никто ее не видит и не слышит. Но вот беда: и она тоже не слышит никого. Радиоволны в воде не распространяются, и для того, чтобы выйти в эфир или принять сообщение, нужно всплыть. Тут-то ее наверняка обнаружат...

Но всплывать не нужно. Над морем летит самолет. С его борта мощный лазер, нацеленный вниз, на водную гладь, посылает световые импульсы, передавая зашифрованное сообщение. Лодка лежит глубоко, свет успевает погаснуть в толще воды, но каждая вспышка, поглощенная водой, чуть-чуть нагревает ее. Нагретая вода расширяется, а потом, остывая, сжимается, рождая... звуковые волны! Эти волны пронизывают многометровый слой воды, принося сигнал с борта самолета на борт подводной лодки. Так для связи используется недавно открытый акустооптический эффект. Расстояние для него не преграда: сигнал, посланный со спутника, можно услышать на дне Марианской впадины. Как обидно, что такие открытия пытаются использовать для разрушения!

Мы за то, чтобы лазер наводил самолеты, идущие на посадку, а не боевые ракеты; резал сталь на заводах, а не на поле боя; пробивал отверстия в часовых камнях, а не в стенах мирных домов. А если бы и жег живую плоть, то во имя здоровья людей, а не для их уничтожения.

Поэтому мы всеми силами стремимся к миру. Поэтому Советским правительством был предложен проект об ограничении



стратегических вооружений, в том числе и в космическом пространстве. Космос нужно сделать районом, свободным от оружия, его и так уже слишком много на Земле.

Мы смотрим вперед с надеждой и оптимизмом. Мы верим, что в конце концов разум и здравый смысл возобладают, и будущее будет свободно от угрозы войны и страха. Поэтому теперь мы

ЗАГЛЯНЕМ В БУДУЩЕЕ

Это будет мирное будущее. Человек благоустроил свою планету и ближайшее к ней окружение. На Луне построен космопорт, и там уже работают сотни людей — астрономов, геологов, физиков. Кислород для них первое время доставляли с Земли в баллонах. Это было трудно и дорого. Трудности закончились, когда был построен... газопровод Земля — Луна. Труба его сделана не из металла или пластмассы, а из лазерного луча!

Во второй половине XX века установили, что если сделать лазер в виде полого цилиндра, то из световой «трубы», излучаемой им, молекулы газа вырваться уже не могут. Увлекаемые световым давлением, они понесутся туда, куда ведет их световой луч. Тогда же были сделаны первые опыты по транспортировке ионизированных молекул вещества. Лазер был небольшим, и путь соответственно измерялся сантиметрами. Теперь же на Земле построен исполинский лазер диаметром двадцать пять метров, а на Луне — приемник света и газа. Система управления на Луне следит за тем, чтобы луч с Земли попадал точно в приемник, и вносит поправки, посылая сигналы на Землю по лазерному каналу связи.

К сожалению, по лазерному трубопроводу пока удается посылать только газ. Людей, машины и приборы приходится по-прежнему доставлять при помощи ракет. Прежде они сжигали уйму горючего. Теперь эти ракеты движет лазерный луч. Идея лазерного двигателя тоже пришла из далекого XX века. В те времена на самолеты ставились воздушно-реактивные двигатели, в которых топливо смешивалось с атмосферным воздухом и сгорало, повышая температуру и давление в камере сгорания двигателя. Горючие газы, вырываясь через сопло, создавали тягу, несущую самолет. Ракеты, в считанные секунды пронизывающие атмосферу, несли запас кислорода с собой.

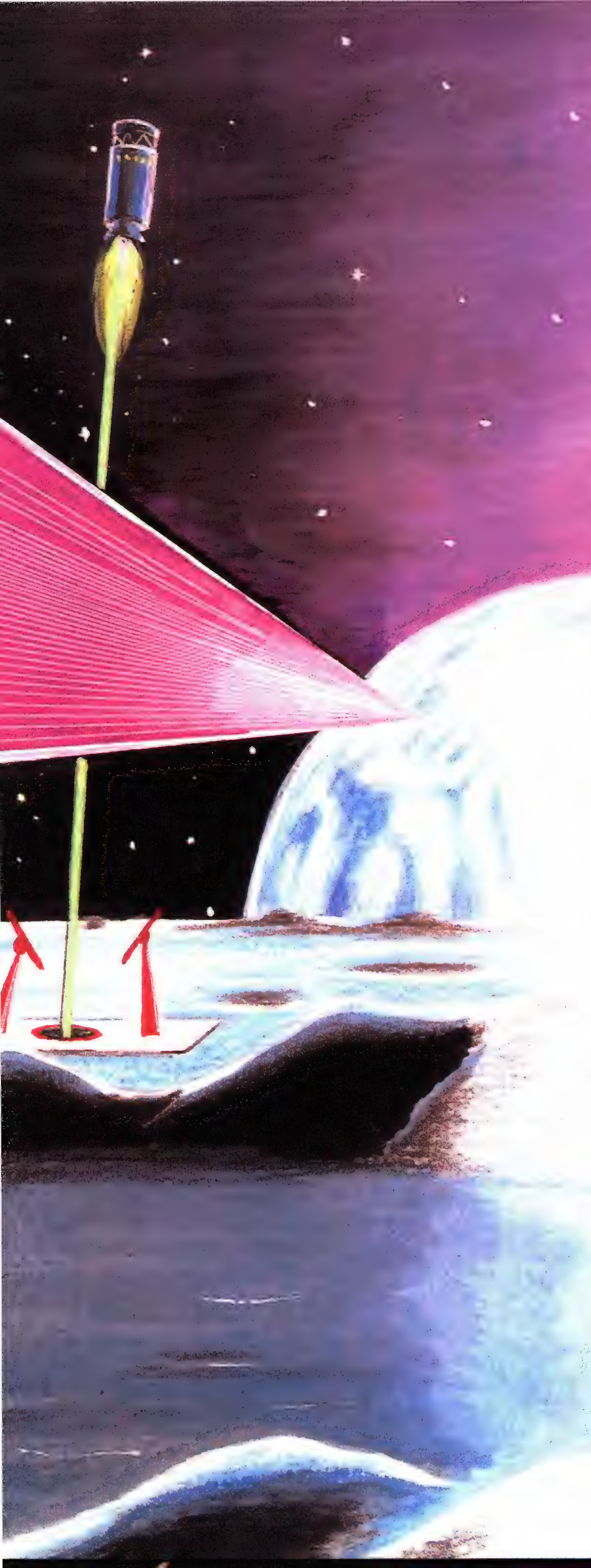
А нужно ли вообще горючее? Может быть, вместо горючего на борт ракеты можно взять полезный груз, а тягу создать нагревом извне? Например, лазерным лучом с Земли? Воздух поступает в камеру сгорания двигателя, а импульсный лазер мгновенными

вспышками нагревает его до температуры несколько тысяч градусов. Поток раскаленного газа вырывается из сопла, увлекая ракету вверх. Ракета уходит в космос, скользя по лазерному лучу, как троллейбус по проводам. В межпланетном пространстве, где уже нет воздуха, лазер может испарять какое-нибудь вещество потяжелее — сталь, свинец — и получать тяжелый, нагретый до высокой температуры пар металла, который даст сильную тягу. И наконец, в открытом космосе, вдали от звезд и планет, корабль, отправившийся в далекие галактики, понесет фотонный двигатель. Огромный лазер выбрасывает световой луч такой мощности, что возникшая при этом отдача разгоняет корабль почти до световой скорости. Если на пути такого корабля встретится даже мельчайшая космическая пыль, то эта встреча окончится для него плачевно: столкновение на такой скорости приведет к взрыву и гибели всего корабля. Но этого не произойдет: любая пылинка будет издали обнаружена лазерным локатором и уничтожена мощной световой вспышкой.

С улыбкой вспоминаются времена, когда человечество терзали тревоги: вот-вот кончится нефть и уголь, и цивилизация сядет на голодный энергетический паек. Этого так и не случилось: во всех странах работают компактные и мощные установки термоядерного синтеза — практически неисчерпаемый источник электроэнергии и тепла. Мощные импульсы нескольких лазеров, сфокусированные на ампуле с тяжелым водородом, мгновенно нагревают его до температуры сто миллионов градусов и сжимают его, превращая в сверхплотную плазму. Плазму удерживает магнитное поле, и в ней начинается термоядерная реакция, в природе протекающая только в недрах звезд. Зажженное лазерной спичкой, миниатюрное рукотворное солнце дает столько энергии, сколько в XX веке давали все электростанции страны, вместе взятые.

...Оптические линии связи соединили каждого человека с центральной библиотекой. Вам для работы понадобился средневековый трактат по химии. Набран код, и на экране телевизора появилась нужная вам страница. Ах, вы не любите читать с экрана? Вы предпочитаете держать книгу на столе, как в старину? Нажмите на кнопку, и на столе перед голографическим экраном появится увесистый том, переплетенный в телячью кожу, с медными застежками, написанный от руки на средневековой латыни. Нет, потрогать вам его не удастся, это все-таки голограмма, а не подлинный манускрипт. Вы считаете, что работать, держа в руках книгу, удобнее? Ну что ж, еще одна кнопка —





«печать», и вы наконец держите нужную страницу в руках, хотите — копию оригинала, хотите — перевод на русский язык. Голографический способ хранения информации может позволить нам такую роскошь.

Кабельное телевидение на оптическом волокне предлагает несколько десятков программ на любой вкус. Все передачи, конечно, идут в цвете и объеме; управляемая голограмма вместо обычного экрана позволит нам перенестись на место действия — в лес, на дно океана или в африканскую саванну. Рядом с нами проходит стадо слонов, вместо люстры висит пышная лиана и мешает наблюдать за львиной семьей, которая отдыхает где-то в районе кухни. Щелчок переключателя, и мы стремительно летим с горы куда-то в пропасть: по этой программе передают соревнования по бобслею...

В начале XX века русский композитор Александр Скрябин мечтал о цветомузыке — новом искусстве, в котором игра всевозможных цветов и звуки музыки сливались бы в неразрывное целое, порождая неведомые прежде ощущения. Создавая симфонию «Прометей» (второе ее название — «Поэма огня»), композитор написал для нее и цветовую партитуру. Однако воплощения своей идеи ему не довелось увидеть (Скрябин умер через пять лет после созда-

Не исключено, что примерно так и будет выглядеть конечный пункт газопровода Земля — Луна.

Всегда в фокусе интересов ученых должна быть забота о благе людей.

ния «Поэмы огня»), поскольку тогда не было техники, способной воспроизвести все, что было задумано композитором.

Многократные попытки воплотить в жизнь замысел Скрябина, пожалуй, и по сей день не имели успеха. Цветовое сопровождение музыки даже в последние десятилетия слишком часто было по сути лишь ярким, назойливым мельканием разноцветных осветительных устройств. Это, разумеется, не имело ничего общего с той гармонией светящегося пространства, о которой мечтал композитор.

Но теперь, в XXI веке, «Поэму огня» можно, наконец, увидеть и услышать в концертном зале «Лазериум»... При первых же аккордах зал озаряется светом, возникающим ниоткуда, появляются столбы пламени, призрачные фигуры, меняющие свои очертания, цвет, размеры, яркость... И нас, людей XXI века, до боли волнует судьба титана Прометея, похитившего небесный огонь, подарившего его людям и жестоко наказанного за это богами,— неумирающая легенда, которая была создана три тысячи лет назад и которая сегодня рассказана языком управляемых голограмм и перестраиваемых лазеров...

Фантазировать можно до бесконечности, однако пора заканчивать книгу. Давайте

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

На заре развития лазерной техники французский физик Луи де Бройль сказал: «Лазеру уготовано большое будущее. Трудно предугадать, где и как он будет применяться, но я думаю, что лазер – это целая техническая эпоха».

С тех пор прошло больше двадцати лет. Время показало, что ученый был прав. Пройдет еще десять – пятнадцать лет, и многие из вас соприкоснутся с лазерной техникой и найдут новые свойства у этого, ставшего привычным, прибора, а кто-то, может быть, свершит с его помощью невиданные открытия, которые мы сегодня и представить себе не можем! Ведь сорок – пятьдесят лет назад не могли представить, что из забавного математического курьеза, не имеющего, казалось, никакого физического смысла, родится такое замечательное изобретение, как лазер.





СЛОВАРЬ ПО ОПТИКЕ И ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКЕ

- АКУСТООПТИКА — раздел физики, изучающий явления, происходящие при возбуждении звука мощным лазерным излучением. См. стр. 50.
- АМПЛИТУДА — характеристика величины, размаха любого колебания.

- ВОЗБУЖДЕНИЕ — процесс, который переводит рабочее вещество лазера в состояние с большей энергией. Излучив электромагнитную волну, вещество снова переходит в нормальное, невозбужденное состояние. Рабочее вещество лазеров возбуждается накачкой.
- ВРЕМЯ ЖИЗНИ — время пребывания атомов или молекул рабочего вещества в состоянии возбуждения.
- ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — излучение возбужденных атомов или молекул под действием внешнего, постороннего излучения. Вынужденное излучение всегда имеет ту же длину волны, что и излучение, его вызвавшее. См. стр. 6.

- ГАЗЕР (правильнее — гразер) — квантовый генератор, излучающий короткие электромагнитные волны, называемые гамма-лучами.
- ГАЗОВЫЙ ЛАЗЕР — обычный лазер из стекла и металла, рабочее вещество которого — смесь газов. Впервые создан в конце 1960 года в США А. Джаваном; работал на смеси гелия и неона, и по сию пору самого популярного рабочего вещества. Сегодня созданы лазеры, работающие на многих газах и парах. Все они дают непрерывное излучение в очень широком диапазоне длин волн: от ультрафиолетового до инфракрасного света. См. стр. 16.
- ГЕЛИЙ-НЕОНОВЫЙ ЛАЗЕР — см. «Лазер» и стр. 68, 73.
- ГЕНЕРАЦИЯ — излучение квантовым генератором электромагнитной волны.
- ГИГАНТСКИЙ ИМПУЛЬС — очень короткая лазерная вспышка, длительностью меньше десятимиллионной доли секунды. Ее мощность — миллионы киловатт.
- ГОЛОГРАММА — I. Заснятая на фотопластинку картина интерференции — сложения двух когерентных световых пучков: опорного — пришедшего от лазера, и предметного — отразившегося от снимаемого предмета. 2. Объемное изображение снятого предмета, получившееся на этой фотопластинке, которое можно фотографировать и рассматривать с разных сторон. Различают голограммы по Габору, их нужно рассматривать в свете того лазера, которым ее снимали; и голограммы по Денисюку, которые можно рассматривать при любом свете. См. стр. 74 и далее.
- ГОЛОГРАФИЯ — способ получения голограмм — объемных изображений на фотопластинках — при помощи лазера. Голография была изобретена в 1947 году английским физиком Д. Габором, который впервые получил голографическое изображение на фотопластинке в когерентном свете ртутной лампы за несколько часов экспонирования. С изобретением лазера время экспозиции уменьшилось до тысячных долей секунды, а качество изображения несравненно улучшилось. Интерференционная картина в голограммах по Габору записана вдоль эмульсии фотопластинки. Советский ученый Ю. Денисюк в 1962 году предложил свой, оригинальный способ получения голограмм, при котором изображение записывается в толстой эмульсии поперек нее. См. стр. 74.
- ГРАЗЕР — см. «Газер».

- ЖИДКОСТНЫЙ ЛАЗЕР — лазер, рабочее вещество которого — жидкость: раствор органических красителей или солей редких металлов. См. «Лазер» и стр. 23.

- ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕР — лазер, излучающий отдельные вспышки света. См. «Лазер» и стр. 14.

На рисунке слева: атомное ядро окружено электронами, которые могут находиться на нескольких, строго определенных уровнях. Самый низкий уровень называется основным, остальные — возбужденными. Когда атом поглощает энергию, электрон поднимается на высшие уровни, когда отдает, испуская фотон,— опускается на основной. Чем выше уровень, с которого опустился электрон, тем меньше длина волны фотона, излученного атомом, тем больше его энергия. На одном и том же уровне электрон может оказаться чуть выше или чуть ниже, поэтому длина волны излучаемого атома очень слабо (но непрерывно) изменяется.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА — явление, при котором сложение двух волн может привести к усилению или ослаблению суммарной волны. Интерферировать могут только когерентные волны, а результат сложения зависит от их фазы. На этом явлении основана голография. Интерференции от обычных ламп не получится — источники некогерентны. См. стр. 59.

ИНТЕРФЕРОМЕТР — оптический прибор для получения картины интерференции. Состоит из нескольких зеркал, которые расщепляют лучи света и снова сводят их вместе. Лучи проходят разный путь и сходятся, изменяя фазы. Поэтому в месте их встречи возникают полосы интерференции. Можно точно измерять длину, скорости перемещения и др. См. стр. 60.

КВАНТ — порция энергии, которую излучает или поглощает атом при единичном взаимодействии. Квант электромагнитных волн называется фотоном.

КВАНТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР — общее название источников электромагнитного излучения, работающий на основе вынужденного излучения атомов и молекул. В зависимости от того, какую длину волны излучает квантовый генератор, он может называться по-разному: лазер, мазер, разер или газер. Впервые на возможность создания квантового генератора указал советский физик В. А. Фабрикант в конце 40-х годов. Первый мазер на молекулах аммиака (раствор аммиака в воде — нашатырный спирт) был сделан в 1954 году одновременно и независимо в Физическом институте Академии наук СССР Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым и в Колумбийском университете (США) Ч. Таунсом с сотрудниками. В 1964 году за эту работу им была присуждена высшая награда в области науки — Нобелевская премия по физике.

КОГЕРЕНТНОСТЬ — свойство волн постоянно сохранять свои характеристики — амплитуду, длину волны и фазу. Две когерентные волны могут интерферировать — давать при сложении картинку в виде темных и светлых полос.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД) — характеристика механизма, которая показывает, какую часть потребленной энергии он превращает в полезную работу. Выражается обычно в процентах. КПД твердотельных лазеров составляет 5—8 процентов, газовых, жидкостных и химических — 10—15 процентов, а полупроводниковых — без малого 60 процентов! Больше половины энергии электрического тока, питающего этот лазер, превращается им в световое излучение.

ЛАЗЕР — оптический квантовый генератор (ОКГ), который генерирует когерентные электромагнитные волны видимого света, ультрафиолетового и инфракрасного света. Говоря о лазерах, обычно упоминают режим его работы (импульсный лазер, непрерывный лазер), вид рабочего вещества (твердотельный, жидкостный или газовый лазер), его материал (гелий-неоновый лазер, рубиновый лазер, лазер на стекле) или цвет его излучения (синий лазер, красный, инфракрасный). См. стр. 8.

МАЗЕР — квантовый генератор, излучающий когерентные радиоволны длиной около сантиметра. Его название — сокращение фразы «Усиление микроволн при помощи вынужденного излучения». См. «Квантовый генератор» и стр. 31.

МОНОХРОМАТИЧНОСТЬ — способность лазера генерировать свет одной длины волны. Полной, абсолютной монохроматичности не существует: даже у хороших лазеров длина волны излучения может изменяться на 1/1000. У полупроводниковых же лазеров она «гуляет», изменяясь в полтора-два раза.

НАКАЧКА — способ возбуждения рабочего вещества лазера. В твердотельных лазерах накачка производится лампами-вспышками, в газовых — электрическим разрядом. Бывает накачка химическая, лазерная, накачка потоком заряженных

частиц. Есть предложение использовать для накачки лазеров в космосе солнечные лучи. Все, что несет энергию, можно приспособить для накачки лазеров.

- НЕОДИМОВОЕ СТЕКЛО — рабочее вещество импульсных лазеров. Оптическое стекло, в которое введен редкий элемент неодим. Неодимовые лазеры излучают инфракрасные лучи.

- ОПТИЧЕСКИЙ КВАНТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР, ОКГ — то же, что и Лазер.

- ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР — лазер с рабочей средой из полупроводника — вещества, занимающего промежуточное положение между проводниками и изоляторами. Разные полупроводниковые материалы могут излучать свет от инфракрасного до ультрафиолетового. Теория этого лазера разработана в 1962 году в СССР, первый такой лазер построен в США Р. Холлом. См. стр. 21.

- РАЗЕР — квантовый генератор, излучающий рентгеновские лучи. Название это образовано так же, как и название Лазер.
- РАБОЧЕЕ ВЕЩЕСТВО (среда) — вещество, которое возбуждается накачкой и генерирует электромагнитную волну в квантовом генераторе.
- РУБИН — красивый драгоценный камень красного цвета. Как это ни удивительно, но он — родственник тому серому налету, который появляется на старых алюминиевых кастрюлях; рубин — окись алюминия, окрашенная в красный цвет атомами хрома. С древних времен высоко ценился как украшение, сегодня переживает вторую молодость как рабочее вещество мощных импульсных лазеров. Рубин не единственный драгоценный камень, применяемый для этой цели, существуют лазеры и на гранате. Рубины и гранаты для лазеров выращивают искусственно.
- РУБИНОВЫЙ ЛАЗЕР — импульсный лазер на искусственно выращенном (синтетическом) кристалле рубина. Излучает импульсы красного света большой мощности. Первый оптический квантовый генератор видимого света; был предложен в 1957 году в СССР, построен в 1960 году американским физиком Т. Мейманом.

- САМОФОКУСИРОВКА — самопроизвольное сужение пучка света большой интенсивности. В сужении возникает «лазерная искра» — пробой воздуха, похожий на молнию. На нагрев воздуха в области «искры» тратится вся энергия луча. См. стр. 97.

- ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ЛАЗЕР — лазер с рабочим веществом из кристалла рубина, граната или из неодимового стекла. Работает в импульсном режиме. См. стр. 12.

- ФАЗА — характеристика колебания, показывающая, какая часть колебания прошла от его начала до момента наблюдения. У когерентных волн фазы сохраняются постоянными.
- ФОТОН — квант электромагнитной энергии, чаще всего — видимого света. Чем меньше длина волны света, тем больше энергии несет фотон: «синий» квант почти в два раза энергичнее «красного». Фотон можно представить как кусочек волны, летящей со скоростью света. См. стр. 8.

- ХИМИЧЕСКИЙ ЛАЗЕР — лазер, у которого накачка рабочего вещества — за счет энергии химической реакции, идущей в нем.

- ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ — общее название радиоволн, света, рентгеновских лучей и других, еще более коротких волн. Все они представляют собой одни и те же колебания электрических и магнитных полей, только с разной длиной волны. Колебания, которые мы воспринимаем при помощи зрения, называются светом. Световые волны разной длины мы видим как разные цвета. Электромагнитные волны квантованы — они состоят из фотонов. См. стр. 7.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОРЫ
ФОТОИЛЛЮСТРАЦИЙ:

РАЗИН В.
(лазерная графика)
с. 11, 21, 23, 24, 25, 35, 37, 42, 45, 46, 47, 49, 53, 57, 59;

ШИЯНОВСКИЙ В.
с. 18, 107;

БОГДАНОВ С.
с. 11, 15, 42, 43, 77;

КОСТИН А.
с. 18, 24, 35, 42, 69, 90;

БРЕЛЬ В.
с. 72

Дорогие ребята!

Отзывы об этой книге
просим присылать по адресу:
125047, Москва, ул. Горького, 43.
Дом детской книги.

Научно-популярная литература

Для среднего
и старшего школьного возраста

Сергей Данилович Транковский

КНИГА О ЛАЗЕРАХ

Ответственный редактор
БОЛОТНИКОВ В. И.

Художественный редактор
ЛАРСКАЯ Е. М.

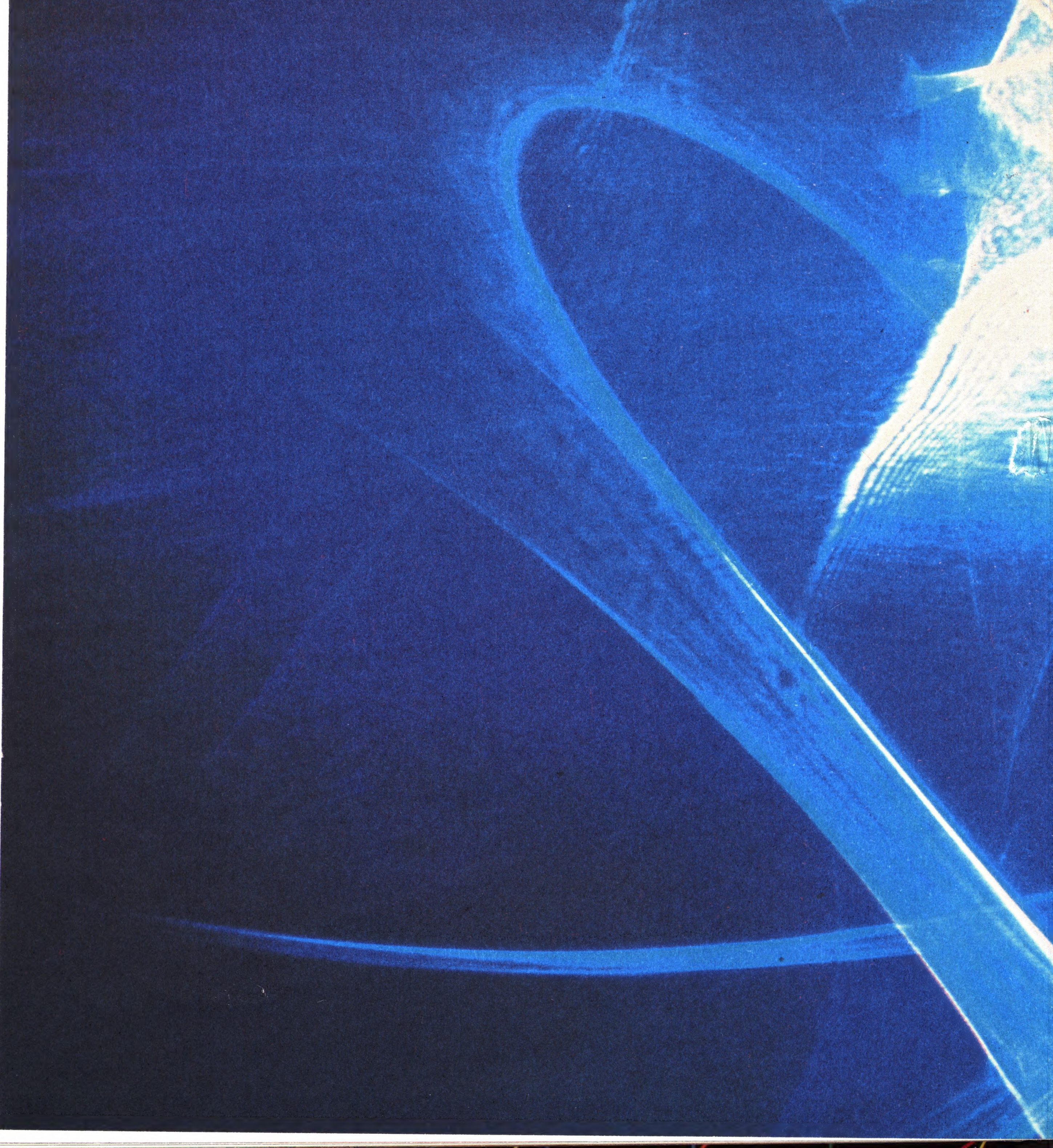
Технический редактор
МОХОВА Н. Г.

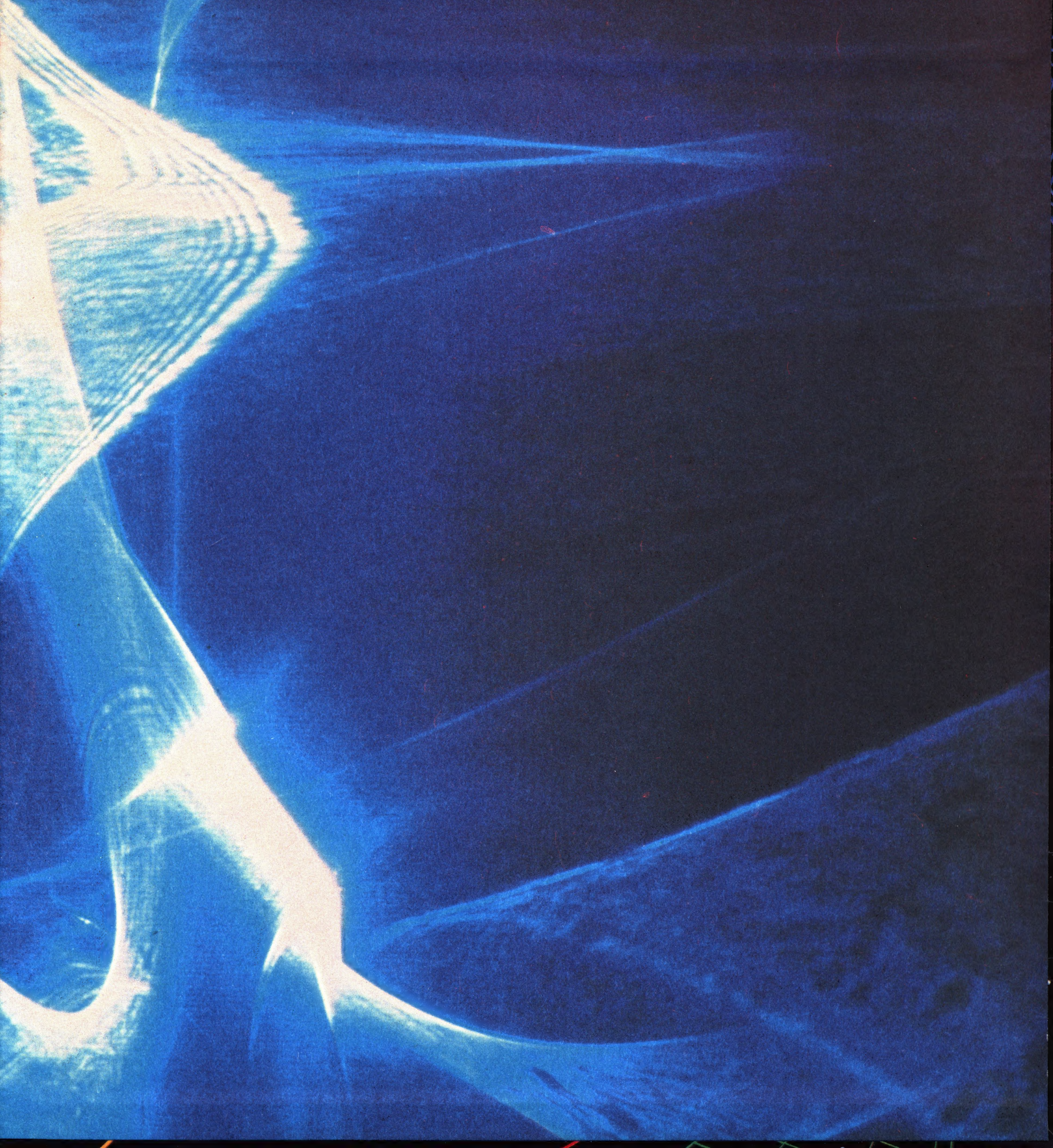
Корректор
К. И. КАРЕВСКАЯ

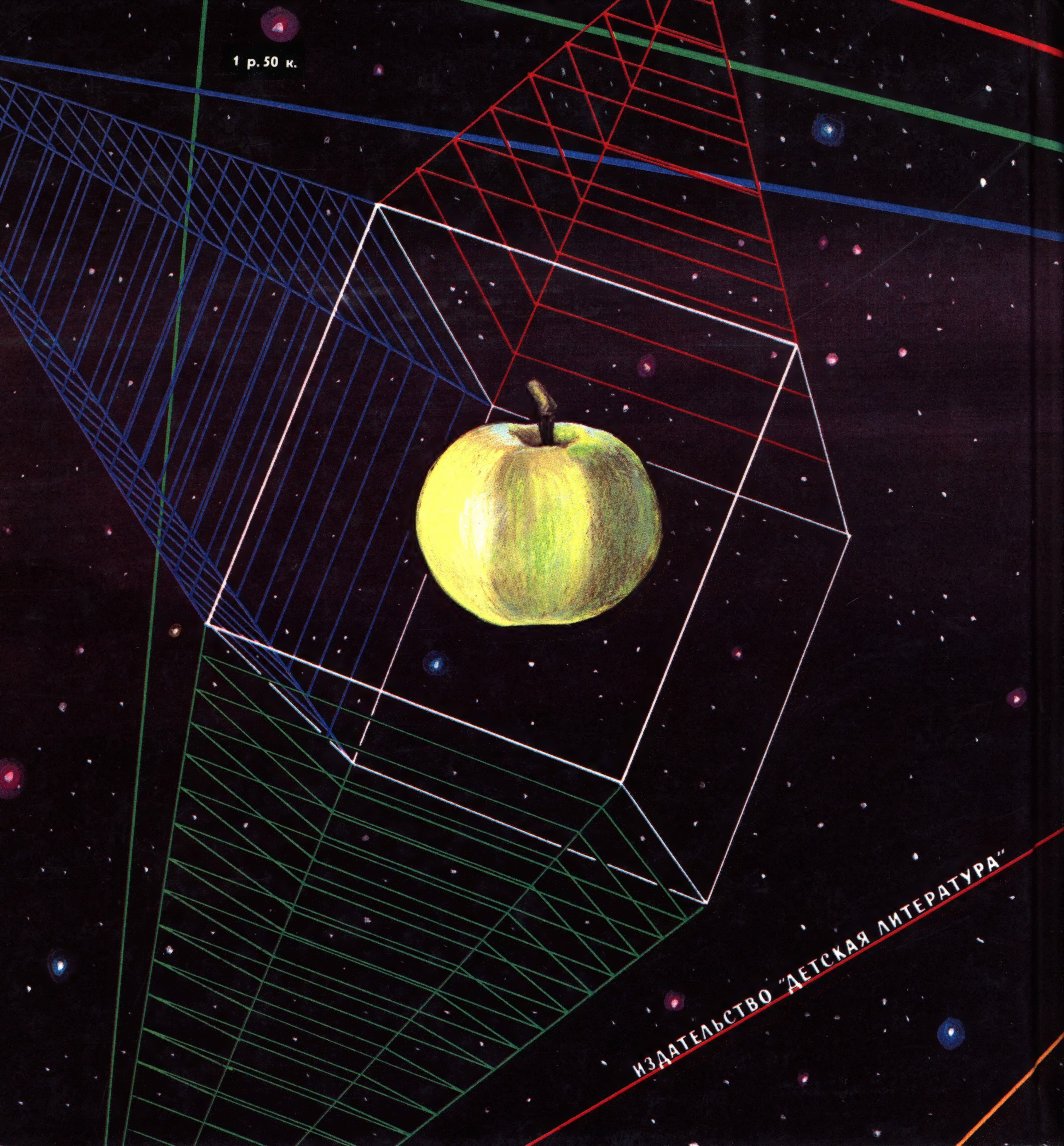
ИБ № 9820

Сдано в набор 05.02.88. Подписано к печати 18.08.88. А01593. Формат 84×90 1/16. Бум. мелован. мастермат. Шрифт гельветика. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,8. Усл. кр.-отт. 41,3. Уч.-изд. л. 10,05. Тираж 100 000 экз. Заказ № 8038. Цена 1 р. 50 к. Орденов Трудового Красного Знамени и Дружбы народов издательство «Детская литература» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 103720, Москва, Центр, М. Черкасский пер., 1. Ордена Трудового Красного Знамени ПО «Детская книга» Росглавполиграфпрома Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 127018, Москва, Сущевский вал, 49.








1 р. 50 к.
ИЗДАТЕЛЬСТВО "ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА"